ÜBER DIE

HORNHAUT DES AUGES.

VON

TH. WILH. ENGELMANN.



LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1867.

Vorbemerkungen.

Die ursprüngliche Aufgabe der hier mitgetheilten Untersuchung war es, den Verlauf und die Endigungsweise der in die Hornhaut eintretenden Nervenfasern zu ermitteln. Ich wurde dabei veranlasst, auf den Bau des Hornhautgewebes näher einzugehen. Die Resultate finden sich auf den folgenden Blättern. Äussere Verhältnisse gestatteten nicht, der Arbeit, wie ich es gewünscht hätte, eine grössere Ausdehnung zu geben. Ich habe mich desshalb auf die Untersuchung der Hornhaut des Frosches (Rana temporaria und esculenta) beschränkt. Alle Angaben beziehen sich auf diese, was ich spätere Untersucher zu berücksichtigen bitte.

Im Interesse der Darstellung wird es liegen, zuerst die Ergebnisse der Untersuchung im Zusammenhange zu schildern und dann die Methoden zu besprechen, welche zu den geschilderten Resultaten geführt haben.

Die Arbeit ward begonnen in der zweiten Hälfte des August und war im Wesentlichen beendet um Mitte September dieses Jahres. Die Versuche über elektrische Reizung der Hornhautzellen und Hornhautnerven wurden erst in der dritten Decemberwoche im hiesigen physiologischen Laboratorium angestellt. Herrn Professor Ludwig danke ich für die Freundlichkeit, mit der er mir die Benutzung alles dazu nöthigen Materials gestattete.

Ueber den Bau der Hornhaut.

Die Structur der Cornea fasse ich folgendermassen auf. Das eigentliche Hornhautgewebe, welches zwischen Elastica posterior und Elastica anterior liegt, besteht aus einer Grundsubstanz und zahlreichen in dieselbe eingelagerten Zellen und Nerven. Die Grundsubstanz wird gebildet von dicht aneinander gelagerten feinsten Fibrillen. Die Dicke dieser Fibrillen beträgt höchstens 0,0001 mm und eine jede ist von ihren Nachbarn durch eine nicht messbar dicke Flüssigkeitsschicht getrennt. Die Fibrillen sind zu grösseren Lamellen, von etwa 0,004 mm Dicke vereinigt, welche concentrisch zur Hornhautoberfläche in etwa 15 bis 20 Schichten übereinander gelagert sind. Die Fibrillen jeder einzelnen Schicht laufen zur Hornhautoberfläche und unter einander parallel. Die Faserrichtungen in zwei sich deckenden Lamellen kreuzen sich unter einem meist gegen 90° betragenden Winkel. An manchen Stellen treten Faserplatten aus einer Schicht in eine andere über.

In der Berührungsfläche je zweier sich deckender Lamellen liegen gleichmässig vertheilt und in mässigen Abständen von einander eine grosse Anzahl von Zellen, die Hornhautkörperchen. Jede Zelle besteht aus einem senkrecht zur Hornhautoberfläche plattgedrückten, von der Fläche gesehen polygonalen körnerlosen Protoplasmahaufen, in dessen Centrum ein bläschenförmiger Kern mit Kernkörperchen liegt. Von dieser den Kern umhüllenden grösseren Protoplasmaanhäufung, deren mittlerer Durchmesser etwa 0,02 mm beträgt, treten namentlich von den Ecken aus sechs bis höchstens zwanzig allmählich sich verjüngende unbewegliche Protoplasmafortsätze nach den verschiedensten Richtungen hin durch die Grundsubstanz. Die meisten liegen in der Ebene zwischen

je zwei Lamellen, viele durchsetzen aber die Lamellen unter nahezu rechtem Winkel. Ein Theil dieser Fortsätze endet frei zugespitzt in der Grundsubstanz; ein anderer vereinigt sich mit Fortsätzen, welche von benachbarten Zellen kommen. Jede Zelle hängt in dieser Weise sowol mit Zellen derselben Schicht wie mit Zellen der darüber und darunterliegenden Schichten zusammen und es entsteht so ein die ganze Hornhaut durchsetzendes Netzwerk von Protoplasmasubstanz. Weder die Zellen noch ihre Fortsätze haben Membranen; sie liegen nackt in Zwischenräumen zwischen den Fibrillen, welche sie vollständig ausfüllen.

Ausser den sternförmigen Hornhautkörperchen kommen in der Grundsubstanz der Cornea normal eine wechselnde Zahl von kleineren, beständig Form und Ort verändernden membranlosen Zellen vor, die »wandernden Zellen«. Ihre Grösse bei mittlerer Ausdehnung beträgt meist 0,015 mm. Sie halten sich in allen Schichten der Hornhautsubstanz auf und bewegen sich nicht in begrenzten Kanälen, sondern in den mit Flüssigkeit gefüllten Zwischenräumen zwischen den Hornhautfibrillen. Sie drängen dabei die ihnen in den Weg kommenden Fibrillen auseinander.

Vom Verhalten der Nerven im Hornhautgewebe soll weiter unten ausführlich die Rede sein.

Nach hinten wird die Corneasubstanz begrenzt durch die Elastica posterior (Membrana Descemeti), eine homogene elastische Membran von etwa 0,0015 mm Dicke. Sie trägt auf ihrer der vorderen Augenkammer zugewandten Fläche ein einfaches Pflasterepithel von grossen polygonalen Zellen.

Nach vorn wird die Corneasubstanz begrenzt durch die sogenannte Elastica anterior (Bowman'sche oder subepitheliale Schicht, Membrana limitans anterior). Diese ist keine elastische Membran; sie steht in ihren Eigenschaften den gewöhnlichen Hornhautlamellen sehr nahe, besitzt aber ein viel dichteres fibrilläres Gefüge. Sie hat eine Dicke von 0,006—0,008 mm und ist von der eigentlichen Corneasubstanz zwar deutlich, aber nicht so scharf wie die Elastica posterior abgegrenzt. Weder Fortsätze der sternförmigen Hornhautkörperchen noch wandernde Zellen dringen in sie ein. An vielen Stellen wird sie, wie weiter unten genauer beschrieben werden soll, von Nervenstämmen senkrecht durchsetzt.

Auf der äusseren Oberfläche der Elastica anterior ruht das vordere Hornhautepithel. Es besteht aus vier Schichten von Zellen, deren innerste von cylinderförmigen, deren äusserte von plattenförmigen Zellen gebildet wird. Sämmtliche Zellen enthalten einen bläschenförmigen Kern mit Kernkörperchen.

Zwischen den cylinderförmigen, seltner zwischen den andern Zellen, äussert selten auf der äusseren Oberfläche des Epithels kriechen umher kleine mit schlanken Fortsätzen versehene beständig ihre Form verändernde Zellen. Sie enthalten meist zwei oder drei ovale Kerne mit Kernkörperchen und haben eine mittlere Länge von kaum 0,01 mm. Ihr Protoplasma ist feinkörnig. Bei ihren Wanderungen drängen sie sich zwischen den Epithelzellen durch.

Die reiche Nervenausbreitung im vordern Hornhautepithel wird weiter unten eine ausführliche Darstellung finden.

Die im Vorstehenden mitgetheilte Ansicht über den Bau der Hornhaut ist im Wesentlichen gewonnen bei der Untersuchung ganz frischer Hornhäute in Humor aqueus und feuchter Kammer. Nach kurzer Uebung bringt man es dahin, schon drei Minuten nach Tödtung des Frosches das Corneapraeparat, welches besser ohne Deckglas bleibt, in der feuchten Kammer unter dem Mikroskop zu haben. Will man das eigentliche Hornhautgewebe mit den sternförmigen Zellen untersuchen, so kehrt man die Elastica posterior nach oben. Das Epithel muss unangetastet bleiben, wenn man mechanische Insultationen der Membran vermeiden will.

Am Besten verfährt man ähnlich wie Kühne*) angegeben hat. Man sticht mit einem sehr scharfen Staarmesser dicht am Rand der Sclera ein und saugt sofort den auf die Klinge fliessenden Humor aqueus mit einer feinen Pipette auf. Nun schneidet man schnell mit einer feinen, äusserst scharfen Scheere von der Einstichsöffnung aus die Hornhaut rings herum ab, indem man überall eine schmale Zone der Sclera daranlässt. Mittelst einer spitzen Pincette hebt man dann die Cornea ab von der mit einer

*) W. Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. Leipzig 1864. S. 123.

andern Pincette fixirten Iris und legt die Membran in den aus der Pipette auf den Objectträger entleerten Tropfen Humor aqueus.

Eine andere Methode, bei welcher das Berühren der Cornea ganz vermieden wird, besteht darin, dass man mit kurzen raschen Schnitten ein etwa 2 mm im Geviert haltendes Fenster aus der hinteren Wand des vorher ganz frei präparirten Bulbus herausschneidet. Man setzt darauf das Auge mit der künstlichen Öffnung auf den Objectträger auf und nun kann die Hornhaut im durchfallenden Licht untersucht werden. Der Vortheil ist hierbei, dass ausser der Faltenbildung, welche bei der plötzlichen Verringerung des intraocularen Druckes eintritt, keine gröberen mechanischen Veränderungen der Cornea stattfinden. Insbesondere wird jede Zerrung vermieden. Da aber bei dieser Methode, der Iris wegen, immer nur das Centrum der Hornhaut der Beobachtung zugänglich wird, und hier gerade nicht selten störende Falten liegen, wird man die erste Methode im Allgemeinen vorziehen. Beide geben ganz übereinstimmende Resultate, um so mehr je vorsichtiger man verfuhr.

Untersucht man ein nach der ersten Methode hergestelltes Praeparat, so findet man bald ausgedehnte Stellen der Hornhaut, welche von Falten frei und gleichmässig ausgebreitet sind. Diese eignen sich zur weiteren Beobachtung als Flächenansichten. Ich habe sie bei der folgenden Beschreibung im Sinne. Man kann nun geradezu sagen: je weniger man anfangs bei einer solchen Flächenansicht im Gesichtsfeld sieht, desto gelungener ist das Praeparat. An den meisten Objecten gelingt es wenigstens das Epithel der Elastica posterior und die oberflächlichsten Zellen des vorderen Epithels, hie und da auch einige Kerne derselben in der ganz homogen scheinenden, wasserklar durchsichtigen Membran zu unterscheiden. Stellt man den Focus auf das eigentliche Hornhautgewebe ein, so sieht man in den ausgezeichnetesten Fällen gar nichts, meist jedoch, wenigstens bei schiefer Beleuchtung, hie und da in den verschiedensten Richtungen verlaufende, mässig lange, sehr feine Streifen, von äusserst mattem Glanze. Dieselben scheinen mit beiden Enden frei in der klaren Zwischensubstanz aufzuhören. Fixirt man die zunächst der Elastica posterior gelegenen Lagen der Hornhautsubstanz, so bemerkt man wol auch äusserst blasse, feingestreifte Bänder, deren Verfolgung nach der Sclera zu sie bald als Bündel blasser Nervenfasern erweist.

Bei genauerer Durchmusterung des Gesichtsfeldes erblickt man ausserdem vereinzelte kleine mattglänzende Körper von rundlicher, meist

länglicher, oft auch mehrfach gekrümmter Gestalt. In ihrem Innern glänzen einige feine Körnchen. Man bemerkt bald, dass diese Körperchen, indem sie zarte kurze Fortsätze ausstrecken, andere wieder einziehen, beständig Gestalt und Ort verändern: es sind v. RECKLINGHAUSENS »wandernde Hornhautzellen.«

Hat das Präparat etwa eine halbe Stunde in der feuchten Kammer gelegen, so treten allmählich neue Bilder im Gesichtsfeld auf. Die oben erwähnten feinen, mattglänzenden Streifen treten deutlicher und in grösserer Menge hervor, hie und da tauchen neue auf. Nach einiger Zeit sieht man, dass dieselben ausgehen von äusserst blassen, polygonal erscheinenden, matten Flecken*). Wartet man noch eine halbe Stunde und länger, so treten diese matten grossen Flecken deutlicher hervor und man sieht, dass alle durch zarte Ausläufer mit ihren Nachbarn zusammenhängen. Körner und Kerne erkennt man in den Flecken nicht. Von Formveränderungen ist keine Spur wahrzunehmen. Man erblickt das Netz der sternförmigen Hornhautkörperchen. Inzwischen sind auch die Nervenfasern deutlicher geworden und man sieht ausser den breiteren blassen Bändern noch äusserst feine isolirt laufende Fasern.

In der Grundsubstanz gehen kaum merkbare Veränderungen vor sich. Hie und da tauchen, besonders in der Nachbarschaft grösserer Nervenstämme, einige schmale Züge von äusserst blassen, sehr leicht wellenförmig verlaufenden Linien auf. Diese Linien laufen unter sich parallel und sind durch kaum messbar breite hellere Streifen getrennt. Es sind die Fibrillen der Hornhautsubstanz.

Bei diesen Fibrillen und der sie verbindenden Zwischensubstanz müssen wir etwas länger verweilen. Während die Fibrillen in denjenigen Flächenansichten, welche der eben gegebenen Beschreibung zu Grunde lagen, nur selten deutlicher zu sehen sind, ist nichts leichter als sie überall da zu erblicken, wo die Cornea in kleine Falten gelegt oder gezerrt worden ist. Sie laufen dann in Wellenlinien die meist um so steiler geschwungen sind, je stärker die vorausgegangene Dehnung der Membran war. Während an den unversehrten Stellen alle Fibrillen einer Schicht gleichmässig dicht liegen, nirgends breitere Spalten zwischen den Fasern zu erkennen sind, zeigen sich an den geknickten und gezerrt

*) S. auch: v. RECKLINGHAUSEN, Ueber Eiter- und Bindegewebskörperchen, in Virchows Archiv, Bd. XXVIII. S. 171.

gewesenen Partieen zwischen einzelnen Fasern etwas breitere Spalten, von etwa 0,0002 mm — 0,0005 mm. Durch diese stärker in die Augen fallenden hellen Zwischenräume kommt zu Stande eine Eintheilung der Faserlamellen oder doch eines Theils derselben in bandartige Faserbündel von verschiedener Breite (0,002 mm und weit darüber). Innerhalb jedes Faserbündels ist der Abstand der einzelnen Fibrillen von einander meist gleichweit und kaum messbar; doch kommen auch hier wieder feinere Spaltungen vor.

Es geht hieraus hervor, dass sich der gegenseitige Abstand der Fibrillen des Hornhautgewebes schon unter geringen mechanischen Einflüssen sehr leicht und in einer Weise verändert, welche auf das Vorhandensein einer flüssigen Kittsubstanz zwischen den Fibrillen hinweist.

Den Beweis dafür, dass die capillaren Zwischenräume zwischen den Fibrillen mit Flüssigkeit ausgefüllt sind, liefern die Wanderungen der beweglichen Hornhautzellen. Wer einmal die proteusartigen Gestaltveränderungen sah, wer beobachtete, mit welcher Schnelligkeit der Ortswechsel dieser »Organismen im Organismus« stattfindet, der muss zugeben, dass so etwas nur in einer Flüssigkeit geschehen könne. — Es sind nun zweierlei Fälle vor Allem möglich: Entweder sind es besonders begrenzte mit Flüssigkeit gefüllte Kanäle, in welchen diese Körperchen sich bewegen, — oder sie bewegen sich in einer alle Räume zwischen den Fibrillen frei erfüllenden Flüssigkeit.

v. Recklinghausen meint das Erstere; ich kann ihm nicht beipflichten. v. Recklinghausen*) bemerkt sehr richtig, dass die Bewegungen der erwähnten Zellen nicht völlig frei geschehen, sondern dass ihnen von Seiten der Grundsubstanz gewisse Hindernisse entgegengestellt werden. Er schliesst: »dass in der Hornhaut Räume mit flüssigem Inhalt existiren, welche von den Körperchen durchwandert werden. Diese Räume können aber kaum von den Körperchen erst ausgegraben werden, da ihre Bewegungen zu rasch vor sich gehen, sie müssen also praeexistiren.« Es würden also Kanäle von wenigstens nahezu constantem Volum sein. Er sagt ferner: »Nichtsdestoweniger können wir weder vor dem Körperchen, noch hinter demselben irgend eine Spur der Räume wahrnehmen, offenbar desswegen, weil der Brechungsindex der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit dem der festen Grundsubstanz

*) v. Recklinghausen, Ueber Eiter- und Bindegewebskörperchen. S. 173.

völlig gleich ist.« Diese Schlussfolgerung ist nicht richtig, denn ich habe an ganz normalen Hornhäuten wiederholt aufs Deutlichste gesehen, dass hinter einem schnell in der Richtung der Fibrillen vorwärtskriechenden Körperchen ein längerer Kanal sichtbar blieb. Derselbe hatte völlig die Form, Richtung und Helligkeit einer etwas erweiterten Spalte zwischen den Fibrillen. Anfangs noch messbar breit (etwa 0,0006 mm und darüber) verengerte er sich im Lauf einer oder weniger Minuten und schloss sich endlich ganz hinter dem Körperchen, so dass keine Spur mehr von ihm zu sehen war. Hieraus darf man schliessen, dass die »Kanäle« für gewöhnlich nicht desshalb unsichtbar sind, weil der Brechungsindex der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit dem der Grundsubstanz gleich ist, sondern desshalb, weil sie sich für gewöhnlich unmittelbar hinter dem wandernden Körperchen wieder schliessen. Die Zelle erweitert die Räume, in denen sie wandert. Wollte man dennoch an der Annahme begrenzter Kanäle festhalten, so müsste man weiter annehmen, dass die Kanalwände für gewöhnlich, etwa vermöge ihrer Elasticität, bis zum völligen Verschwinden des Lumens zusammengezogen seien. Die wandernde Zelle würde also immerhin bei ihren Bewegungen den Widerstand der Kanalwände überwinden und das Kanallumen gewaltsam erweitern müssen. Diess Alles wird unnöthig gemacht durch die einfache Annahme, dass die feinen Zwischenräume zwischen den Fibrillen von einer Flüssigkeit ausgefüllt werden und dass in diesen mit Flüssigkeit gefüllten Räumen die Zelle sich fortbewegt. Die Fibrillen werden dabei um ein Geringes auseinandergedrängt und nehmen ihre frühere Lage wieder ein, sobald die Zelle weggerückt ist. Ich sehe nicht ein, warum man den wandernden Zellen die Kraft absprechen soll, die Fibrillen auseinander zu schieben und sich zwischen denselben den Weg zu bahnen, da es doch keinem Zweifel unterliegt, dass die wandernden Zellen im äussern Hornhautepithel bei ihren Ortsveränderungen die sie an Masse weit übertreffenden Epithelzellen auseinanderdrängen.

Der Widerstand, welchen die Hornhautfibrillen der wandernden Zelle entgegensetzen, reicht vollständig aus, die Thatsache zu erklären, dass die Bewegungen derselben nicht wie in einer freien Flüssigkeit geschehen. Auf einige Eigenthümlichkeiten der Bewegung hat v. Recklinghausen schon aufmerksam gemacht. So erzählt er z. B., dass an einzelnen Stellen des Wegs die wandernde Zelle sich zu einer matten

Masse verbreiterte. Er schliesst daraus, dass an diesen Stellen seine hypothetischen unsichtbaren Kanäle entweder sehr dilatirbar seien oder in weite Räume übergehen. Unsere Ansicht macht diese neuen Annahmen nicht nöthig.

Häufig kommt ein wanderndes Körperchen an einer sternförmigen Zelle vorbei und nicht allzuselten tritt dann der von v. Recklinghausen beschriebene Fall ein, dass es in den von der ruhenden Zelle eingenommenen Raum rückt und beide Zellen sich mit grösseren Theilen ihrer Oberflächen unmittelbar berühren. Es erweitert hier offenbar in derselben Weise wie an anderen Stellen seinen Weg und drängt die das ruhende Hornhautkörperchen begrenzenden Fibrillen von demselben ab. Dabei mag auch das Protoplasma der sternförmigen Zelle etwas verschoben und eingedrückt werden. Man muss diess wenigstens daraus schliessen, dass, wie v. Recklinghausen schon beschreibt, die Contouren beider Zellen meist genau bei einer und derselben Einstellung am deutlichsten sind. — Die wandernde Zelle verlässt das Hornhautkörperchen zuweilen erst nach längerem Aufenthalt. Sie kriecht dabei meist auf einem Ausläufer der ruhenden Zelle hin. »Bisweilen schickt«, so schreibt v. Recklinghausen, »das bewegliche Körperchen zwei Fortsätze in zwei benachbarte Ausläufer der sternförmigen Figur aus, hierdurch wird seine Längsaxe oft rechtwinklig gebogen, stets aber rückt das ganze Körperchen erst dann von der Stelle, nachdem sich der eine Fortsatz zurückgezogen hat, niemals streckt sich die Längsaxe unmittelbar zu einer geraden Linie. Hieraus ergiebt sich, dass die homogen erscheinende Substanz zwischen zwei benachbarten Ausläufern der sternförmigen Figur den Bewegungen ein unüberwindliches Hinderniss entgegenstellt.« Diese Thatsache widerstreitet unserer Annahme durchaus nicht; sie beweist indessen keineswegs das Vorhandensein eines »unüberwindlichen Hindernisses.« Ganz denselben Vorgang kann man oft genug an frei im Wasser kriechenden Amoeben beobachten, wo doch von einem äussern Hinderniss für die Geraderichtung der Längsaxe nicht die Rede ist.

Verfolgt man den Lauf einer wandernden Zelle weiter, so sieht man nicht selten, wie sie nur eine kurze Strecke sich von der ruhenden Zelle entfernt, dann wieder umkehrt, jedoch nicht genau auf demselben Wege; wie sie über und neben der Zelle vorbeikriecht und dabei ihre alte Bahn wol mehrmals kreuzt; kurz sie berührt nach einander so viele ver-

schiedene Punkte eines kleinen gegebenen Stücks Hornhautsubstanz, dass wenn man hier begrenzte, beständig offene Kanäle annehmen wollte, für die Grundsubstanz gar kein Platz mehr sein würde. Man müsste ein Röhrennetzwerk von beispielloser Engmaschigkeit statuiren. Lauter unnatürliche Annahmen, die völlig überflüssig sind, wenn man sich vorstellt, dass die wandernden Zellen sich einfach zwischen den Fibrillen in der flüssigen Kittsubstanz bewegen. Sehr lehrreich ist mitunter die Beobachtung zweier sich begegnender Wanderzellen. Dieselben bestreichen zuweilen, indem sie an einander vorbei, über sich weg und um sich herumkriechen, und dabei oft nur durch wenige Fibrillen von einander getrennt sind, — sie bestreichen in kurzer Zeit fast den ganzen Rauminhalt eines gegebenen kleinen Hornhautstückes. Wo soll da die Grundsubstanz Platz finden, wie sollen die zahllosen Fibrillen laufen, wenn fast der ganze Raum von einem System begrenzter, mit Flüssigkeit erfüllter Röhren eingenommen wird?

Durchmustert man den Scleralrand einer mit möglichster Schonung frisch präparirten und in Humor aqueus gelegenen Hornhaut, so wird man hie und da auf Stellen stossen, wo die fibrilläre Zerklüftung der Hornhautsubstanz sehr deutlich ausgesprochen ist und viele Fibrillen von ihren Nachbarn durch eben messbare Zwischenräume geschieden sind. Hier beobachtet man nun gelegentlich, dass freie Pigmentkörnchen von den Pigmentzellen des Scleralrandes her in diese Spalten eindringen. Man erblickt feine Reihen, zuweilen drei bis vier dicht neben einander, Reihen brauner Pigmentkörnchen, welche dieselbe Richtung wie die Fibrillen derselben Schicht verfolgen. Sie dringen zuweilen ziemlich weit (bis 0,1 mm) in diesen Spalten in die Hornhautsubstanz ein und in einzelnen Fällen habe ich mich überzeugt, dass sie von vorbeikriechenden Zellen aufgenommen und nun weiter mitgeführt wurden. Ich weiss nicht, wie man diese Thatsachen einfacher und besser erklären will, als unter Zugrundelegung der hier vorgetragenen Ansicht über den Bau des Hornhautgewebes.

Es scheinen mir auch ferner die Ergebnisse, welche Injectionsversuche an Hornhäuten geliefert haben, besser durch unsere Annahme als durch andere erklärt werden zu können. Es begreift sich vollkommen, dass die Injectionsmasse bei ihrem Eindringen in die Corneasubstanz netzförmige Bahnen darstellt und nicht diffus sich ausbreitet. An der Einstichsstelle in die Hornhaut werden durch Auseinanderzerren der

Lamellen und Fibrillen grobe Spalten in der Grundsubstanz erzeugt. Diese grösseren Räume füllt zunächst die Injectionsmasse aus. Bei gesteigertem Druck muss die Masse sich weiter bewegen und wird da begreiflicherweise die schon bestehenden feinen Spalten zwischen den Fibrillen benutzen, in denen sie den geringsten Widerstand findet. Dass sie dabei sehr häufig auch die Räume erweitert und injicirt, welche gewöhnlich von den sternförmigen Hornhautstellen und deren Ausläufern erfüllt werden, hat nichts Merkwürdiges. Sie dringt aber nicht bloss in diesen Räumen vor, sondern erweitert auch viele Spalten zwischen Fibrillen, in denen keine Hornhautkörperchen oder Ausläufer derselben liegen. Die Richtung der Fibrillen ist im Ganzen massgebend für die Richtung, welche die Injectionsmasse einschlägt. — v. Recklinghausen beschreibt die Ergebnisse seiner Hornhautinjectionen auf pag. 42 flgd. der Schrift über die Lymphgefässe. Er findet sich dadurch bestärkt in der Annahme eines Netzwerks praeexistirender »Saftkanälchen« in der Hornhaut. Ich bemerke indessen, dass die Resultate der durch v. Recklinghausen angestellten Injectionen nicht wol in Uebereinstimmung gebracht werden können mit dem, was die Beobachtung der wandernden Zellen lehrt. — v. Recklinghausen lässt diese wandernden Zellen sich in einem System von Röhren bewegen, welches mit dem Kanalsystem der sternförmigen Hornhautkörperchen communiciren soll. Die Beobachtungen, welche ich oben mitgetheilt habe und die zum Theil nur Bestätigungen Recklinghausen'scher Angaben sind, haben nun zur Evidenz gelehrt, dass die Bahnen, welche die wandernden Zellen zurücklegen, nicht blos die Richtung der Hornhautfibrillen verfolgen, sondern dieselben nach allen Richtungen hin aufs Mannichfaltigste durchkreuzen; dass die Bahnen ferner nicht geradlinig, sondern meist bogenförmig gekrümmt sind. Von diesen Bahnen zeigt sich aber bei den bisher angestellten Injectionsversuchen nichts. Auch die v. Recklinghausen'schen haben nach seiner eigenen Beschreibung ganz andere Bilder gegeben. Würden die Bahnen der wandernden Zellen von der Injectionsmasse gefüllt — und bei der Annahme, dass sie praeformirte mit den übrigen »Kanälchen« der Hornhaut in offner Verbindung stehende Kanäle seien, wäre nicht einzusehen weshalb sie das nicht sollten, — so müsste man ein die Lamellen nach allen Richtungen durchsetzendes Netzwerk von wenigstens stellenweise ungeheurer Engmaschigkeit und Unregelmässigkeit der Begrenzung zu Gesicht bekommen. Man erhält aber regelmässige gitterartige Zeich-

nungen, die fast ausschliesslich in den Ebenen zwischen den Lamellen liegen. Unsere Auffassung lässt eine höchst einfache Erklärung dieser Thatsache zu. Man hat diese Erklärung, wenn man in Betracht zieht, dass die Injectionsmasse sich immer in der Richtung des geringsten Widerstandes bewegen muss, die wandernden Hornhautkörperchen aber, als — der Ausdruck sei erlaubt — willkürlich bewegliche Organismen dies durchaus nicht thun. Beide müssen also verschiedene Bahnen beschreiben. — Die Thatsache, dass die Injectionsmasse besonders leicht zwischen den Lamellen, namentlich in den für gewöhnlich von den sternförmigen Hornhautkörperchen ausgefüllten Lücken fortschreitet, begreift sich, wenn man annimmt, dass die Adhäsion zwischen Fibrillen und Fibrillen stärker ist als zwischen Fibrillen und Protoplasma der Hornhautzellen. Eben daraus erklärt sich auch schon die Spaltbarkeit der Hornhaut in Lamellen zwischen denen die Körper der sternförmigen Zellen liegen.

Aehnliche Bilder wie bei Injectionen zeigen sich bei gewissen pathologischen Prozessen in der Cornea. Mangel an genügenden Eigenuntersuchungen verbietet ein näheres Eingehen auf diese Verhältnisse. Immerhin sei erwähnt, dass unter den mir bekannten Beobachtungen über pathologische Veränderungen in der Hornhaut (s. His, v. Recklinghausen l. c.) keine mit unserer Auffassung der Corneastructur unvereinbar ist. — Ebenso stehen damit in schönster Uerbeinstimmung die Resultate der Untersuchung im polarisirten Lichte, wie sie zuerst von His ausführlich mitgetheilt sind.

Das Ergebniss unserer Betrachtungen ist, dass es kein geschlossenes Kanalsystem im Sinne v. Recklinghausen's in der Cornea giebt, sondern nur Zwischenräume zwischen den Fibrillen. Alle durch Injectionen in der Hornhaut dargestellten Bahnen sind künstlich erweiterte interfibrilläre Räume, — von den spärlichen Blutgefässen am Rande der Cornea natürlich abgesehen. Es giebt somit auch keine Lymphgefässe in der Hornhaut. In welchen Beziehungen die interfibrillären Räume zu den Lymphgefässen der Sclera stehen, ist noch zu untersuchen. — In wie weit sich ferner die hier entwickelte Auffassung der Structur des Hornhautgewebes auch auf andere Arten des Bindegewebes übertragen lasse, dies auszuführen ist hier nicht der Platz. Der Analogieschluss wird indess erlaubt sein, dass die Grundsubstanz wenigstens des fibrillären Bindegewebes nach demselben Plan gebaut sei, wie die der Hornhaut,

dass sie nämlich bestehe aus feinsten von capillären Flüssigkeitsschichten umgebenen Fibrillen.

Anmerkung. Eine kurze Erwähnung mögen hier noch einige der wichtigsten Veränderungen finden, welche die Grundsubstanz der Cornea bei den üblichen Untersuchungsmethoden am häufigsten erleidet, nämlich Quellung und Schrumpfung. — Quellung der Hornhautsubstanz veranlassen namentlich die verdünnten Lösungen von Salzsäure (von 0,01 % an), Essigsäure, Oxalsäure, Holzessig, in geringerem Grade Chromsäure in äusserster Verdünnung (0,01 % etwa); ferner die kaustischen Alkalien. Nur letztere bringen gleichzeitig die zelligen Bestandtheile und die Nerven der Hornhaut zu bedeutenderem Aufquellen, während die erste Gruppe in geringem oder stärkerem Grade coagulirend auf diese Theile wirkt. Hieraus erklärt sich die so verschiedene Form der Hornhautzellen bei den verschiedenen Behandlungsweisen. — Charakteristisch für die Quellung machenden Flüssigkeiten ist, dass sie jede Andeutung einer fibrillären Structur der Hornhautsubstanz vertilgen. — Die Fibrillen treten dagegen mit grösserer Deutlichkeit hervor nach Zusatz von schrumpfend wirkenden Flüssigkeiten. Solche Flüssigkeiten sind namentlich concentrirte Lösungen der verschiedensten Salze und ihre Gemische (Müllersche Augenflüssigkeit z. B.), auch concentrirtere Zuckerlösungen. Hier sind die Zwischenräume zwischen allen einzelnen Fibrillen deutlich wahrnehmbar, nicht bloss hie und da grössere Spalten. — Wir haben die Erklärung dieser Erscheinungen, wenn wir uns vorstellen, dass die Quellung bestehe in einer durch Flüssigkeitsaufnahme bedingten gleichmässigen Volumvermehrung der feinsten Hornhautfibrillen, die Schrumpfung aber in einer durch Flüssigkeitsabgabe bedingten gleichmässigen Volumverminderung derselben. Bei der Quellung tritt Flüssigkeit aus den interfibrillären Spalten in die Fibrillen selbst ein, und dehnt diese aus bis zur gegenseitigen Berührung, also bis zum Schwinden der Zwischenräume. Die Hornhautsubstanz muss dann homogen erscheinen. Bei der Schrumpfung tritt Flüssigkeit aus den Fibrillen in die interfibrillären Spalten und erweitert diese. Der Abstand zwischen den einzelnen Fibrillen wird damit vergrössert und diese Vergrösserung des Abstandes im Verein mit der dabei aller Analogie nach eintretenden Verstärkung des Lichtbrechungsvermögens der Fibrillen, bewirkt, dass die fibrilläre Structur deutlich hervortritt. Aus denselben Gründen erscheint für das blosse Auge im Allgemeinen eine gequollene Hornhaut durchsichtig, eine geschrumpfte weisslich trüb. Dass es nicht Coagulate sind, welche diese starke Trübung machen, beweist der Umstand, dass auch in andern Fällen, wo nur der gegenseitige Abstand der Fibrillen vermehrt wird, so namentlich, wenn durch einen starken Druck auf das unverletzte Auge die Cornea unter einen hohen Grad von Span-

nung versetzt wird, gleich eine milchige, mit dem Nachlass des Drucks sofort verschwindende Trübung eintritt. Dieselbe beruht wie bei der Schrumpfung darauf, dass infolge des Auseinanderweichens der feinsten Fibrillen weniger Licht durch die Hornhaut durchgelassen, mehr reflectirt wird. Je geringer der gegenseitige Abstand der Fibrillen ist, desto näher muss auch das optische Verhalten der Hornhautgrundsubstanz dem eines homogenen Körpers kommen.

Es mögen hier noch einige Bemerkungen über die wandernden Zellen der Hornhaut Platz finden. Nicht immer ist es leicht, diese Zellen zu entdecken. In einzelnen Hornhäuten sind sie sehr spärlich, in andern sehr zahlreich, ohne dass man die Bedingungen kennte unter denen das Eine oder das Andere der Fall ist. In frisch entzündeten Hornhäuten sind sie so zahlreich, dass man auf den Gedanken kommen musste, sie seien überhaupt eine pathologische Erscheinung, etwa von den sternförmigen Hornhautkörperchen abstammende Eiterkörperchen. Es giebt aber ein sehr gutes Mittel, sie auch in ganz normalen Hornhäuten in auffallender Weise zur Ansicht zu bringen. Diess Mittel besteht in dem Einlegen der Cornea in Zuckerlösung mässiger Concentration. Nach einigen Stunden sind die wandernden Zellen dann zu nahezu kugelförmigen mit hie und da eingekerbter Oberfläche und nur wenigen ganz kurzen Fortsätzen versehenen Körper von etwa 0,0015 mm Durchmesser geschrumpft. Sie springen dann durch ihren äusserst lebhaften Glanz sofort in die Augen, während die sternförmigen Hornhautzellen (wenigstens auf Flächenansichten) viel blasser bleiben. Die Fibrillen der Grundsubstanz treten in ihrer nächsten Umgebung oft sehr deutlich hervor, nie aber werden besondere Kanäle sichtbar.

Um die Bewegungen der Wanderzellen besser zu verfolgen, kann man dieselben an dem lebenden Thiere mit Farbstoffkörnchen imprägniren. Macht man mit einem feinen scharfen Messer einen kleinen Einschnitt in den Scleralrand der Cornea und reibt da hinein Zinnober, so zeigen bei der nach zwölf Stunden oder noch später angestellten Untersuchung verschiedene der wandernden Zellen, namentlich die in der Nähe der Wunde befindlichen, mehr oder minder zahlreiche rothe Körnchen in ihrem Innern. Bei der Verletzung entstehen zahlreiche Spalten zwischen den Fibrillen, in welche Spalten dann die Pigmentkörner eindringen. Hier werden sie von vorbeikriechenden Zellen aufgenommen. Man überzeugt sich so ohne grosse Mühe, dass die Bewegungen der wandernden

Zellen in allem Wesentlichen übereinstimmen mit den an andern Protoplasmakörpern (Amöben und amöboiden Organismen besonders) beobachteten Form- und Ortsveränderungen. Es lässt sich sogar an diesen kleinen Objecten die vor Kurzem von Hofmeister an den Plasmodien der Myxomyceten entdeckte, für die Theorie dieser Bewegungen wichtige Erscheinung beobachten, dass regelmässig die von dem zuerst bewegten Körnchen rückwärts gelegenen Körner nach einander in die Bewegung hineingerissen werden. Gleich als ob sie durch das Ausweichen des ersten Theilchens ihrer Stütze beraubt wären, stürzen sie eins nach dem andern hinter dem ersten drein.

Bei dem eben erwähnten Verfahren, die wandernden Zellen mit Farbstoffkörnchen zu füllen, bekommt man eine pathologisch veränderte Hornhaut zur Untersuchung. Eine normale Cornea würde man behalten, wenn die beweglichen Zellen im lebenden Thier aus den der Hornhaut benachbarten bindegewebigen Theilen der Sclera in dieselbe einwanderten und es gelänge, sie vor ihrem Einwandern mit Farbkörnern zu imprägniren. In einigen Versuchen, die ich in dieser Richtung anstellte, zeigten sich bei der späteren Untersuchung keine pigmenthaltigen Zellen in der Hornhaut.

In normalen Hornhäuten kommt es nicht vor, dass ein wanderndes Körperchen durch die Elastica anterior hindurch nach vorn ins Hornhautepithel eintritt. Dieses stimmt sehr gut zu unserer Annahme, dass die interfibrillären Spalten die Bahnen der Wanderzellen sind. Behandelt man die Elastica anterior mit den früher erwähnten Mitteln, welche in der eigentlichen Hornhautsubstanz Fibrillen zur Ansicht bringen, so behält sie ihr anscheinend homogenes Gefüge. Nur durch längere Einwirkung von übermangansaurem Kali gelingt es, wie Rollet*) gezeigt hat, sie in feinste Fibrillen zu zerspalten. Diese laufen aber nicht wie in den Hornhautlamellen der Corneaoberfläche und unter sich parallel, sondern beschreiben steil gewundne Schlangenlinien und sind dicht in einander verschlungen und verfilzt. Aus diesen beiden Thatsachen folgt, dass die interfibrillären Spalten der Elastica anterior enger und weniger leicht dilatirbar sind als die des eigentlichen Hornhautgewebes. Es begreift sich also, dass die Wanderzellen nicht in die Elastica ein-

---

*) Rollet, Ueber das Gefüge der Substantia propria corneae. Wiener Sitzungsberichte. 1858. Bd. 33. S. 516.

dringen. Der einzige Weg auf dem sie durch dieselbe gelangen könnten, wären die später zu beschreibenden Porenkanäle, durch welche die Nerven für das Hornhautepithel austreten. Hiergegen ist zu bemerken, dass die betreffenden Kanäle von den durchtretenden Nervenfasern so gut wie vollständig ausgefüllt werden, wenigstens die nach innen zu liegenden Kanalhälfte auf die es hier ankommt. Man müsste also die geschraubte Annahme machen wollen, dass die Wanderzellen die Nerven weg- und zusammendrückten oder den Kanal gewaltsam erweiterten. Letzteres erlaubt die bedeutende Festigkeit der Elastica anterior nicht. Man müsste endlich die wandernden Zellen im Hornhautepithel wiederfinden. Allerdings findet man hier eine Menge wandernder Zellen, aber von ganz anderer Art. Sie sind viel kleiner als die der eigentlichen Hornhautsubstanz und besitzen in der Regel zwei bis drei Kerne. Uebergangsstufen zwischen beiden Formen kommen nicht vor. Somit darf es als feststehend angesehen werden, dass in normalen Hornhäuten zellige Elemente der Hornhautsubstanz in das vordere Epithel nicht gelangen. Ob und wie diess unter pathologischen Verhältnissen geschieht, bleibt eine offene Frage.

Die Nerven der Hornhaut.

Vom Rande der Sclera her treten etwa in der Höhe der zweiten bis dritten Zellenschicht, von der Membrana Descemeti aus gerechnet, eine grosse Anzahl von dunkelrandigen und blassen Nervenfasern in die Hornhaut ein. Ein Theil derselben ist bestimmt in der Hornhautsubstanz zu enden, ein anderer, die Elastica anterior zu durchbohren und im vorderen Epithel sein Ende zu nehmen. — Die dunkelrandigen mit deutlicher Markscheide versehenen Fasern dringen zu stärkeren Stämmchen vereinigt, durchschnittlich an sechs bis acht Stellen des Scleralrandes in die Cornea ein. Jedes dieser Stämmchen enthält etwa 5—15, zuweilen noch mehr dunkelrandige Nervenfasern. Ausserdem treten von verschiedenen Stellen des Randes her noch einzelne oder zu zweien gesellte dunkelrandige Nervenfasern ein. Die Mehrzahl der markhaltigen Fasern läuft anfangs etwa 0,2—0,5 mm weit in einer grade auf das Centrum der Hornhaut zielenden Richtung; nur eine kleine Anzahl tritt dicht am Hornhautrande nahezu rechtwinklig von den grösseren Stämmchen

ab, um erst eine Strecke weit parallel dem Scleralrande zu verlaufen, und dann nach dem Hornhautinnern umzubiegen. Der Markgehalt der Fasern verschwindet plötzlich und zwar durchschnittlich in einer Entfernung von 0,3 — 0,5 mm vom Scleralrande, bei manchen früher, bei sehr wenigen später; bei den Fasern eines und desselben Stämmchens an verschiedenen Stellen. Es lösen sich nun alle Stämme erster Ordnung in geringer Entfernung vom Hornhautrande durch wiederholte dichotomische Theilung in eine Anzahl blasser, verschieden breiter Faserbündel auf, welche sich untereinander zu einem reichen, weitmaschigen Nervengeflecht verbinden. Das Geflecht ist so vollständig, dass es gelingt von jedem grösseren Stamme erster Ordnung durch das Geflecht hindurch zu allen übrigen Hauptstämmen erster Ordnung zu gelangen. — Die Breite der plexusbildenden Bündel nimmt im Allgemeinen mit der Entfernung vom Hornhautrande ab, sinkt aber selten unter 0,02 — 0,03 mm herab. Diess gesammte grössere Nervengeflecht liegt etwa in der Höhe der zweiten bis dritten Zellenschicht, von der Elastica posterior aus gerechnet. Es bildet gleichsam den Boden, von dem aus die feinere Nervenvertheilung stattfindet. Ehe wir diese letztere betrachten, möge noch über den feineren Bau des gröberen Netzwerks Einiges gesagt sein.

Bei ihrem Eintritt in die Cornea besitzen die dunkelrandigen Nervenfasern fast sämmtlich die gleiche Breite von 0,01 mm. Sie theilen sich nur ausnahmsweise so lange sie noch markhaltig sind. Nachdem sie aber die dunkelglänzende Markschicht verloren haben, was immer ganz plötzlich und spätestens 0,5 mm weit vom Scleralrand geschieht, pflegen sie sich allmählich in eine grössere Anzahl blasser Fasern von zunehmender Feinheit aufzulösen. Während die blassen Fasern in den Stämmen erster und zweiter Ordnung oft noch Durchmesser von 0,005 mm besitzen, finden sich weiterhin in den Maschen des Plexus fast nur Fasern von 0,0005 — 0,001 mm Dicke. Dieselben laufen in jedem Bündel im Allgemeinen parallel, dicht nebeneinander her, nicht selten aber beschreiben sie während eines längeren Verlaufs langgezogene Spiraltouren umeinander. Kurz vor den Theilungsstellen entfernen sich oft eine oder einige feinste Nervenfasern vor dem Stamm um sich erst eine kleine Strecke weit hinter der Theilungsstelle wieder mit den Nervenbündeln zu vereinigen. Es scheint dass ein grosser Theil der blassen Fasern erst weithin durch viele Maschen des gröberen Netzwerks ziehen, bevor sie dasselbe verlassen. Manche mögen so innerhalb der Plexus über die Hälfte der

Hornhaut und mehr weglaufen. Wahre Anastomosen zwischen blassen Fasern lassen sich innerhalb der Plexus nicht nachweisen, es scheinen nur Aneinanderlagerungen vorzukommen.

Jede dunkelrandige Faser wird von einer zarten und kernhaltigen, enganliegenden Scheide umgeben. Dieselbe setzt sich, immer dünner werdend, auch auf die blassen Fasern des Plexus fort. Die Kerne, anfangs sehr zahlreich, werden mit zunehmender Entfernung vom Hornhautrande seltener; schliesslich finden sie sich fast nur noch in den Achseln des Plexus. Die Länge der Kerne beträgt im Mittel 0,02 mm. Anfangs haben sie eine längliche ovale, später meist eine gedrungene, fast dreieckige Form. Kernkörperchen fehlen oft.

Von dem beschriebenen Nervengeflecht gehen nun im Wesentlichen nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen feinste Nervenfasern ab. Die Einen steigen in steiler Erhebung nach vorn, um die Elastica anterior zu durchbohren und im vorderen Epithel ihre Endausbreitung zu finden; die anderen verlaufen im Allgemeinen der Hornhautoberfläche und wenigstens streckenweise den Hornhautfibrillen parallel und endigen in der eigentlichen Cornea.

I. Die Nervenausbreitung im eigentlichen Hornhautgewebe.

Von den zahlreichen Nervenbündeln, welche das gröbere Nervengeflecht bilden, zweigen sich an vielen Stellen und unter verschiedenen Winkeln sehr feine Äste (von 0,0005 — 0,005 mm circa) ab, welche nur aus einer oder sehr wenigen feinsten Nervenfasern bestehen. Dieselben verlaufen in der Regel nach ihrem Austritt aus dem grössern Nervenstamm eine ansehnliche Strecke weit geradlinig und parallel zu den Fibrillen der Lamelle, in welcher sie gelagert sind. Die meisten dieser feinsten Fasern liegen in der zweiten und dritten Lamelle, von der Elastica posterior aus gerechnet. Sie pflegen mehr an der Oberfläche der Lamellen als im Innern zu liegen. Häufig treten sie in die nächst höhere Lamelle und schlagen nun die Richtung ein, welche die Fibrillen in dieser haben. Waren mehrere feine Nervenfasern zu einem dünnen Bündel vereinigt aus dem Plexus ausgetreten, so trennen sie sich, nachdem sie eine Strecke weit mit einander gezogen und dabei oft in langen Spiraltouren um einander herumgelaufen sind. Die eine Faser läuft weiter in

der ursprünglichen Richtung, die andere tritt in die nächst höhere oder tiefere Lamelle ein und läuft in dieser meist nahezu rechtwinklig zu ihrer früheren Richtung fort. Diess wiederholt sich in der Regel und es kann so jede einzelne Faser mehrmals ihre Richtung wechseln. Manche Fasern enden nach einem kürzeren Verlauf, andere, und das ist die Mehrzahl, lassen sich über grosse Strecken der Hornhaut verfolgen. Da die Mehrzahl dieser feinsten Nervenfasern in der Höhe der zweiten bis vierten hinteren Zellenlage bleibt, entsteht hier ein ziemlich engmaschiges Netzwerk feinster blasser Fasern. Diese laufen an vielen Stellen dicht übereinander weg und kreuzen sich dabei häufig unter nahezu rechtem Winkel. Auch Theilungen der feinsten Fasern sind häufig und scheinbare Anastomosen einzelner oder mehrerer Fasern. Ob aber wahre Verschmelzungen zwischen zwei verschiedenen feinsten Nervenfäden vorkommen, ist zweifelhaft. Häufig sind sicher blosse Aneinanderlagerungen. — An den Theilungs- und Verknüpfungsstellen der feinsten Nervenbündel liegt zuweilen ein rundlicher oder mehr dreieckiger Kern. Im übrigen Verlauf der feinsten Nervenfasern kommen keine Kerne vor, auch da nicht, wo sich eine einzelne derartige Faser theilt, oder wo zwei bis dahin nebeneinanderlaufende feinste Nervenfäden sich auseinander begeben. Nirgends sind Ganglienzellen ähnliche Körper in den Verlauf der Nerven eingeschaltet.

Wie schon erwähnt liegt die hier beschriebene reiche gitterartige Nervenausbreitung zum grössten Theil in der Tiefe der zweiten bis vierten Hornhautlamelle von innen gerechnet. Eine nicht geringe Anzahl der feinsten Nervenfasern tritt aber entweder gleich beim Verlassen des gröberen Plexus oder nach kurzem Verlauf in die nächst vorderen Lamellen ein um in diesen sich ähnlich zu verbreiten. Namentlich im Centrum der Hornhaut gelangen sie zuweilen bis in die mittelsten Lamellen. Im vordern Drittel der Corneasubstanz endigen jedoch nur äusserst wenige.

Es wird aber die Hornhautsubstanz nicht bloss von den Stämmchen dunkelrandiger Nervenfasern und dem aus denselben hervorgehenden Plexus versorgt, sondern auch von äusserst feinen blassen Fasern, welche als solche an sehr vielen Stellen des Hornhautumfanges vereinzelt oder zu wenigen aneinandergelagert von der Sclera her eindringen. Ihre Zahl beträgt nicht selten an sechzig. Sie treten fast sämmtlich ein in der Höhe der zweiten Zellenlage von innen gezählt und bleiben zunächst in

dieser Schicht. Sie zeichnen sich aus durch ihre grosse Feinheit, den Mangel an Kernen und an einer deutlichen Scheide. Ihr Durchmesser beträgt am Scleralrande selten mehr als 0,001 mm; sie nehmen sehr allmählich an Dicke ab, mitunter bis zu kaum messbarer Dünne. Sie verästeln sich nicht häufig, einzelne gar nicht, und laufen, meist ohne mit dem gröberen Nervenplexus in Verbindung getreten zu sein, bis weit ins Innere der Hornhaut. Manche laufen quer hinüber bis nahe zum entgegengesetzten Hornhautrande. Wieder andere endigen weit früher. Ihre Richtung ist im Wesentlichen die der Fibrillen der zweiten Lamelle, ohne derselben jedoch streng parallel zu sein. Einzelne treten früher oder später in die innerste, der Membrana Descemeti unmittelbar aufliegende Lamelle, andere in die dritte, und dann verändern sie dem entsprechend ihre Richtung. So betheiligen sie sich an der Bildung des reichen Netzwerks feinster blasser Nervenfasern, welches die hintersten Schichten der Hornhaut durchspinnt.

Was nun die Endigung dieser sowohl als der aus den gröberen Plexus und den dunkelrandigen Nerven herstammenden feinsten blassen Fasern anlangt, so ist hierüber nur wenig zu sagen. Die Nerven nehmen, je weiter sie verlaufen, um so mehr an Durchmesser ab, werden schliesslich unmessbar fein und entziehen sich der weiteren Beobachtung. Auf die Beziehungen derselben zu den sternförmigen Hornhautzellen und deren Ausläufern wird weiter unten die Rede kommen.

II. Die Nerven des Hornhautepithels.

Ein grosser Theil der von der Sclera in die hintersten Hornhautschichten eingetretenen dunkelrandigen Nervenfasern begiebt sich ins vordere Epithel der Cornea. Dies geschieht folgendermassen. Aus dem oben beschriebenen gröberen Nervengeflecht zweigen sich an verschiedenen Stellen, häufig in den Achseln der Plexus, häufig auch anderswo, Nervenstämmchen ab, welche die nach vorn gelegenen Hornhautlamellen steil durchsetzen und die Elastica anterior durchbohren. Sehr vereinzelt treten auch unmittelbar vom Scleralrande feine marklose Fasern nach vorn zum Epithel, ohne erst in den grossen Plexus einzugehen. Die Gesammtzahl aller dieser Nervenstämmchen beträgt etwa 40—60 in jeder Hornhaut. Meist sind dieselben von ansehnlichem Durchmesser (ca. 0,005 mm). Die grösseren derselben sind entweder Bündel feinster

blasser Fasern oder noch ungetheilte dicke blasse Axencylinder. Letztere finden sich mehr in der Nähe des Hornhautrandes, unweit ihres Ursprungs aus dunkelrandigen Fasern. — Eine nicht unbeträchtliche Anzahl besitzt nur geringe Durchmesser (ca. 0,003 mm) und besteht aus nur einem oder sehr wenigen äusserst feinen Nervenzweigen. — Der Durchmesser aller zum Epithel gehenden Nervenstämme bleibt sich bis zur Elastica anterior im Wesentlichen gleich *). — Zuweilen verlässt einer der Zweige, welche ein grösseres nach vorn tretendes Nervenstämmchen zusammensetzen, das letztere, um parallel der Hornhautoberfläche in einer der mittleren Lamellen seinen weiteren Verlauf und seine Endigung zu nehmen. Die grosse Mehrzahl der für das Epithel bestimmten Fasern geht aber von ihrem Ursprung aus dem Hauptplexus bis zum Epithel ohne Seitenäste abzugeben. — Der Winkel, unter welchem die Nerven an die Elastica anterior herantreten, ist ziemlich verschieden. Oft ist es genau ein Rechter; nur selten beträgt er weniger als 60°.

Auf ihrem Wege durch die Lamellen treten die Nervenfasern einfach zwischen den Hornhautfibrillen durch. Zuweilen treten einzelne dieser Fibrillen aus ihrer Lamelle aus, um den Nerven, resp. dessen Scheide nach vorn zu begleiten. Mit den sternförmigen Hornhautzellen treten die Nerven nicht in Verbindung, obschon sie oft genug dicht an denselben vorbeiziehen, auch wohl von den Ausläufern derselben gestreift werden. — Die wandernden Zellen kommen nur vorübergehend mit ihnen in Berührung und kriechen gelegentlich ein Stück weit auf ihnen hin, um sich dann wieder weg zwischen die Hornhautfibrillen zu begeben.

Nachdem die Nerven die Elastica anterior erreicht haben, durchbohren sie diese auf dem kürzesten Wege, also gerade von hinten nach vorn. An jeder Durchtrittsstelle entsteht so ein auf dem Querschnitt kreisförmiger Kanal in der Elastica, dessen scharf begrenzte äussere Oeffnung in der Regel etwas weiter als die innere ist. Im Profil erscheint daher der Kanal nach aussen zu sanft trichterförmig erweitert. Die Weite der inneren Oeffnung des Kanals beträgt genau so viel wie der Durchmesser des durchtretenden Nervenstämmchens, also 0,001 — 0,005 mm. Die äussere erreicht selten 0,01 mm. — Die Wände des Kanals sind nicht differentiirt; der Kanal ist eine einfache cylindrische Lücke in der

*) Bei Bufo cinereus kommen auf diesem Wege lange spindelförmige Anschwellungen vor.

Elastica. Der Kürze halber mögen diese Durchtrittsstellen der Nerven durch die Elastica anterior Nervenporen heissen.

Während seines Verlaufs durch den Porus sendet der Nerv keine Zweige in die Elastica, sondern mündet in ungeschwächter Stärke auf der äusseren Oberfläche dieser Membran. Es bilden nun diese Nervenporen gleichsam die Quellen, die Centralpunkte, von denen aus eine neue und reiche für das Epithel bestimmte Nervenausstrahlung stattfindet. Es sind etwa 40 bis 60 solcher Centralpunkte auf jeder Hornhaut vorhanden. Dieselben sind ziemlich unregelmässig über die Cornea vertheilt, pflegen aber in der Nähe des Scleralrandes etwas dichter zu stehen als in der Scheitelgegend. Zuweilen liegen einige dicht beisammen; dann findet man wieder grössere Strecken der Hornhaut, wo keine Nerven austreten. Im Mittel kommen auf einen Quadratmillimeter der Elastica anterior 6 bis 8 Nervenporen.

Wie die Arme eines Polypen treten aus jedem Porus eine Anzahl von Nervenästen parallel zur Hornhautoberfläche nach verschiedenen Seiten hin aus. Entsprechend der Dicke des durchbohrenden Nervenstämmchens ist die Zahl der ausstrahlenden Nervenfäden eine verschiedene. Man zählt schon in der Austrittsöffnung zuweilen 6 bis 10, meist aber nur 2 bis 4 blasse Fasern. Viele derselben theilen sich gleich nachdem sie auf die äussere Oberfläche der Elastica anterior gelangt sind ein- oder mehrmals nacheinander. So findet man dann in geringer Entfernung vom Porus eine grössere Zahl von Nervenzweigen, mitunter bis 15. — In der Scheitelgegend der Hornhaut strahlen die Nerven nach allen Richtungen hin ziemlich gleichmässig von ihrem Porus aus. Die in der Nähe des Scleralrandes hervortretenden schlagen indess meist eine dem Hornhautscheitel zugekehrte Richtung ein und senden nur ausnahmsweise Aeste nach dem benachbarten Hornhautrande.

Alle Fasern, welche die Elastica anterior durchbohrt haben, bestehen allein aus Fortsetzungen der Axencylinder. Sie laufen ohne Andeutung einer Scheide und kernlos unter und zwischen den Cylinderzellen hin, welche die hinterste Schicht des vordern Hornhautepithels bilden. Der Durchmesser der Fasern beträgt bei ihrem Austritt aus dem Porus höchstens 0,004 mm, meist nur 0,001—0,002 mm. Die meisten Fasern haben einen sehr weiten Verlauf. Sie ziehen in sanften Bogenlinien weit über die Hornhautoberfläche hin, zuweilen über die Hälfte und mehr. Dabei theilen sie sich und geben wiederholt seitlich Zweige von dünnerem

Kaliber ab. Diese laufen wieder nach allen möglichen Richtungen weithin unter und zwischen den Cylinderepithelzellen durch. Die Nervenfäden behalten dabei lange Strecken weit ihren anfänglichen Durchmesser; gegen das Ende hin nehmen sie ganz allmählich bis zu unmessbarer Feinheit ab. Nirgends während ihres ganzen Verlaufs sind sie varieös. Die Aeste, welche seitlich von grösseren Fasern abgehen, sind oft von Anfang an äusserst fein.

An überaus zahlreichen Stellen laufen die von den verschiedenen Poren kommenden Nervenfasern so dicht über einander weg, dass sie sich berühren. Sie kreuzen sich unter den verschiedensten Winkeln, nicht selten drei, vier an einem Punkt. An solchen Kreuzungsstellen, ebenso an Theilungsstellen der Nervenfasern halten sich nicht selten die wandernden Zellen des vordern Epithels auf; sie kriechen auch wol längere Zeit an einem Nervenfaden hin. Ebenso finden sich häufig eine oder mehrere an der Anstrittsstelle eines Nervenbündels aus dem Porus. Sie stehen aber durchaus nicht in bleibender Verbindung mit den Nerven.

Durch das häufige Uebereinanderweglaufen und Sichkreuzen der Nervenfasern entsteht am Boden des Hornhautepithels ein die ganze Hornhautoberfläche überspinnendes dichtes Netzwerk feinster Nervenfäden. Die Maschen desselben sind unregelmässig gestaltet; ihre Grösse schwankt zwischen weiten Grenzen. In den meisten Maschen haben wol 5 bis 10 Epithelzellen Platz, in vielen mehr, in vielen weniger. — Die an den Knotenpunkten des Netzwerks zusammentreffenden Nervenfasern berühren sich zwar, aber verschmelzen nicht mit einander, sondern laufen getrennt weiter. Hie und da ziehen einzelne Nervenfädchen streckenweis nebeneinander her und laufen dabei wol auch, ähnlich wie diess oben von den in der eigentlichen Hornhautsubstanz endenden Fasern beschrieben wurde, in langen Spiraltouren um einander herum. Wahre Anastomosen, also Verschmelzungen von zwei oder mehreren Nervenfäden untereinander fehlen wahrscheinlich.

In ihrem Verlauf treten die Nerven, einige schon bald nach ihrem Austritt aus dem Porus, viele erst gegen ihr Ende hin, in sanfter Steigung nach vorn in die mittleren Schichten des Epithels, in denen die Zellen nicht mehr cylindrisch sind. Manche laufen auch hier noch eine Strecke weit parallel zur Hornhautoberfläche zwischen den Zellen hin. Ebenso steigen an verschiednen Stellen feinste Zweige von dem der Elastica anterior aufliegenden Geflecht grade nach vorn aufwärts um sich in den

vorderen Zellenschichten zu verlieren. Auch diese Zweige geben nicht selten noch kurze Aeste von äusserster Feinheit ab. — Alle aus den Poren ausgetretenen Nerven und ihre Zweige verschwinden schliesslich nachdem sie allmählich zu unmessbar feinen Fädchen geworden sind, frei zwischen den Epithelzellen. Durch die oberflächlichste Schicht des Epithels, welche aus plattenförmigen Zellen besteht, treten keine Nerven hindurch. Besondere Endorgane lassen sich nicht nachweisen; ebensowenig eine Verbindung der feinsten Fasern zu einem Endnetz. Alle scheinen frei zu enden.

Im Vorstehenden ist der Verlauf und die Endigung der Hornhautnerven beschrieben worden, ohne dass der Methoden Erwähnung gethan worden wäre, welche zu den mitgetheilten Resultaten geführt haben. Es darf wol als ein Vertrauen erweckender Umstand bezeichnet werden, dass man fast alles hier Geschilderte an verhältnissmässig sehr frischen Hornhäuten constatiren kann, an Hornhäuten, denen ausser einem Tropfen Humor aqueus Nichts zugesetzt wurde. In dem Zustande in welchem sich die Hornhaut im lebenden Thiere befindet, bekommt man sie freilich nie zur Untersuchung. Aber man findet an ganz besonders schnell und schonend hergestellten Präparaten, wie schon oben erwähnt, Partien, welche offenbar dem Zustand am meisten entsprechen, welcher während des Lebens herrscht. Diess sind Stellen von so vollkommner Durchsichtigkeit, so gleichmässigem Lichtbrechungsvermögen, dass man an ihnen anfangs weder Nerven noch Hornhautkörperchen, und kaum einzelne der oberflächlichsten Epithelzellen zu unterscheiden vermag. Wir dürfen schliessen, dass während des Lebens jede normale Hornhaut in ihrer ganzen Ausdehnung so beschaffen sei. Die Veränderungen, welche binnen kaum einer Stunde in einer Hornhaut vor sich gehen, die eben dem lebenden Thiere entnommen vor Verdunstung und Temperaturwechsel geschützt in dem Humor aqueus des zugehörigen Auges liegt, Veränderungen, welche ausreichen sowol Nerven, als Hornhautzellen zur deutlichen Ansicht zu bringen, — diese Veränderungen sind ungemein geringfügig im Vergleich zu denjenigen, welche der Zusatz auch der angeblich indifferentesten Flüssigkeit in einer frischen Hornhaut hervorruft. Einen der besten Beweise hierfür giebt das Verhalten der wandernden Zellen. Diese bleiben an vorsichtig hergestellten Präparaten viele

Stunden lang beweglich, wenn sie vor Verdunstung geschützt in Humor aqueus aufbewahrt werden. Wird eine fremde Flüssigkeit zugesetzt, so sterben sie in kurzer Zeit. — Wir haben somit ein Recht, zu behaupten, dass die Untersuchung der frischen Cornea in Humor aqueus und feuchter Kammer dasjenige Verfahren sei, welches vor Kunstproducten am meisten schützt. Dennoch ist dieser Schutz kein vollständiger, da die Veränderungen in der Lichtbrechung, auf denen ja erst das Sichtbarwerden der einzelnen Hornhautbestandtheile bei diesem Verfahren beruht, aller Wahrscheinlichkeit nach theils bedingt, theils begleitet sind von anderen Veränderungen, deren Art und Grösse wir aber nicht beurtheilen können, da uns die Kenntniss des vorausgegangenen Zustandes mangelt. — Einer der grössten Vortheile der erwähnten Methode besteht darin, dass eine merkliche Quellung oder Schrumpfung der Hornhaut vermieden wird. Eine Reihe von Messungen, welche sowol die Gesammtdicke als die Dicke der einzelnen Schichten der Cornea berücksichtigte, ergab, dass die anfangs gefundenen Werthe auch noch nach mehreren Stunden gelten. Diese Thatsache ist von Wichtigkeit, weil sie folgern lässt, dass bei dem erwähnten Verfahren die mechanischen Verunstaltungen und Lageveränderungen der Nerven und Zellen der Cornea durch Pressung oder Zerrung nicht vorkommen, welche bei den gewöhnlichen Untersuchungsmethoden in Folge der Quellung oder Schrumpfung der Hornhaut zu Stande kommen, und eine so wichtige und wie es scheint immer noch nicht genug gewürdigte Rolle spielen. — Günstig ist ferner der Umstand, dass aller Wahrscheinlichkeit nach in der kurzen zwischen Präparation und Beobachtung verflossenen Zeit keine wesentlichen Veränderungen in den chemischen Processen der Hornhaut vor sich gegangen sind, wenigstens nicht Veränderungen, die denen verglichen werden könnten, welche alle anderen Behandlungsweisen der Cornea nothwendig herbeiführen. Man wird nach alledem nicht bestreiten können, dass die Bilder, welche man bei der Untersuchung der frischen Cornea in Humor aqueus und feuchter Kammer erhält, den während des Lebens bestehenden Zustand noch am Besten wiedergeben.

Es wurde schon früher beschrieben, wie bei dieser Methode nach kurzer Zeit das Netzwerk der sternförmigen Hornhautkörperchen in unvergleichlicher Klarheit zum Vorschein kommt, wie vortrefflich sich die Bewegungen der wandernden Zellen beobachten lassen, und welche Schlüsse man daraus auf den Bau der Hornhautsubstanz ziehen muss.

Hier möge der Vortheile gedacht werden, welche diese Methode für das Studium der Nerven bietet. — Es giebt kein Verfahren, bei welchem man gleichgut sowol die innerhalb der eigentlichen Hornhautsubstanz als die im vorderen Epithel gelegene Nervenausbreitung untersuchen könnte. Schon eine Stunde etwa nach Anfertigung des Präparates liegen die Nerven von ihrem Eintritt in die Cornea an bis zu den feinsten Verzweigungen klar da. Man überzeugt sich, dass ausser den dunkelrandigen auch zahlreiche blasse Fasern, von grosser Feinheit, meist einzeln von verschiedenen Stellen des Scleralrandes in die Hornhaut treten. Diese Fasern, so zahlreich sie sind, hat man bisher ganz übersehen. Sie werden bei den üblichen Präparationsmethoden (Essigsäure, Holzgeist, selbst Chromsäure zuweilen) in der Regel unkenntlich gemacht. Ich habe an die Möglichkeit gedacht, dass es sympathische Fasern seien. Die dunkelrandigen Nervenfasern konnten ausschliesslich für das vordere Epithel bestimmt sein. Diess ist nun bestimmt nicht der Fall. Es gelingt zuweilen, namentlich wenn man von einer einzeln aus der Sclera hervorkommenden dunkelrandigen Nervenfaser ausgeht, die aus dieser hervorgehenden blassen Fasern bis zu ihrer Endigung in den hintersten Schichten der eigentlichen Hornhautsubstanz zu verfolgen. Da nun ferner die äusserst feinen blassen Fasern, welche einzeln in die Hornhaut eintreten, auf dieselbe Weise in dieser enden wie die von dunkelrandigen Fasern kommenden, so ist der Schluss erlaubt, dass auch sie ihren Ursprung in dunkelrandigen Nervenfasern haben und nur der Unterschied besteht, dass sie schon innerhalb der Sclera sich von ihrem Stamm abzweigen und ihren Markgehalt verlieren. Bei einigem Suchen findet man auch andererseits einzelne oder Bündel feiner blasser Fasern, welche unmittelbar vom Scleralrand schräg nach vorn zum Epithel gehen.

Die Untersuchung der Cornea in Humor aqueus und feuchter Kammer giebt verhältnissmässig wenig Aufschluss über den Verlauf und das sonstige Verhalten der blassen Fasern innerhalb der grösseren Plexus. Es ist nicht möglich eine einzelne im Plexus verlaufende Faser längere Strecken weit zwischen ihren Nachbarn zu verfolgen. Die Contouren sind zu blass. Auch Theilungsstellen sind, wie schon KÜHNE (Protoplasma, pag. 135) bemerkt, schwer zu constatiren. — Man erhält dagegen wichtige Aufschlüsse über das Verhalten der Nerven zur Zwischensubstanz und den Hornhautkörperchen. Zunächst überzeugt man sich, dass die Nerven von ihrem Eintritt an einfach in Zwischenräumen zwischen den

Fibrillen der Grundsubstanz liegen, die sie im normalen Zustand völlig ausfüllen. Von besonderen Kanälen für die Nerven zu sprechen würde desshalb ebenso überflüssig sein, wie wenn man z. B. für jede einzelne Bindegewebsfibrille einen besonderen Kanal annehmen wollte.

Für die Feststellung der Beziehungen zwischen Nerven und Hornhautzellen ist die Untersuchung der frischen Cornea in Humor aqueus von der grössten Bedeutung, weil bei ihr die relative Lage der einzelnen Bestandtheile der Hornhaut am wenigsten verändert wird. Untersucht man mit Vergrösserungen von 300—400 Mal, so glaubt man aus vielen Stellen des gröberen Nervenplexus, auch von dunkelrandigen Fasern am Rand aus, äusserst feine faserartige Fortsätze hervorkommen zu sehen, welche alsbald zu sternförmigen Zellen führen und mit deren übrigen Ausläufern, sowohl was Form als was Grösse und Glanz anlangt, völlig übereinstimmen. Man erhält dann Bilder ganz ähnlich denen, welche Kühne in den Untersuchungen über das Protoplasma auf Tab. V. Fig. 17 und Fig. 19 gegeben hat. Untersucht man dieselben Stellen gleich darauf mit den besten starken Vergrösserungen (ich benutzte ein Immersionssystem No. X. von Hartnack), so erkennt man in allen Fällen, dass der anscheinend aus dem Nervenstämmchen austretende Zellenfortsatz in Wahrheit über oder unter demselben wegläuft, durch einen noch messbaren Zwischenraum von demselben getrennt ist. An der Stelle, wo Nerv und Zellenfortsatz scheinbar in einander übergehen, liegen beide, wie eine genaue Benutzung der Mikrometerschraube zeigt, in verschiedenen Ebenen. Ich habe wohl hundert solcher Stellen aufs genauste untersucht und immer diess Resultat gefunden. Diess muss den Angaben Kühnes entgegengehalten werden, welcher behauptet*), dass »selbst aus den dicken Bündeln und den mächtigen Anastomosen viele kurze Aeste austreten, welche direct in die Zellen übergehen und mit den Ausläufern der letzteren verschmelzen.« Dazu giebt Kühne die Bilder Taf. V, Fig. 17 und 19 deren Zweideutigkeit nur allzu handgreiflich ist. — Die Stellen, an denen wirklich feinste Nervenfasern aus einem grösseren Stamme treten, sind zahlreich genug. Die austretende Nervenfaser besitzt aber an solchen Stellen einen grösseren Durchmesser als die feinen Zellenausläufer und lässt sich, was das Wichtigste ist, noch sehr weit verfolgen. Hiervon habe ich keine Ausnahme gesehen. Solche Fälle wie sie Kühne auf

*) l. c. S. 137.

Tab. V. Fig. 18 abbildet, sind mir oft genug vorgekommen; leider zerstörte die Anwendung stärkerer Vergrösserungen stets die Illusion und zeigte, dass die vermeintlich in der Zelle endende Nervenfaser nur verdeckt durch dieselben weiterlief, namentlich oft in eine andere Lamelle nach aufwärts umbog. Es kann nicht genug gewarnt werden vor den Bildern, welche das Ende einer Nervenfaser in einer Hornhautzelle vorspiegeln. Nur dann darf man der Untersuchung Zutrauen schenken, wenn die Umgebung der Stelle, wo das vermeintliche Ende liegt, in weitem Umfange unversehrt ist. Namentlich darf sie keine Falten zeigen. Solche Stellen findet man aber in ganz frisch präparirten Hornhäuten keineswegs so häufig als man vielleicht glauben möchte.

Die nähere Beobachtung der feinsten blassen Nervenfasern, an denen eine Zusammensetzung aus mehreren Fäden nicht mehr nachzuweisen ist, ergiebt, dass dieselben nackt zwischen den Fibrillen hinziehen. Weder an denen die direct vom Scleralrand kommen, noch an denen die aus den Plexus austreten und als Terminalzweige der intracornealen Nervenausbreitung anzusehen sind, ist eine besondere Scheide zu erkennen. Man hüte sich, die zarte Interferenzlinie, welche jederseits neben der blassen Faser herläuft, für den Ausdruck einer Nervenscheide zu halten. Sie ist dadurch deutlich als Interferenzlinie charakterisirt, dass sie dem Contour der Nervenfaser absolut parallel ist. Eine Membran thut das nie mit absoluter Genauigkeit. — Zuweilen täuschen auch einige in unmittelbarer Nachbarschaft der Nervenfaser sichtbar werdende Hornhautfibrillen eine Membran vor. Solche Fälle scheinen, nach den Abbildungen zu urtheilen, KÜHNE öfter vorgelegen zu haben. — Man verfolgt nun die feinsten Fasern durch weite Strecken und constatirt, dass sie dabei allmählich an Dicke abnehmen und endlich unmessbare Dünne (unter 0,0001 mm) erreichen. Sie erscheinen fast nur als Linien, von doppelten Contouren keine Andeutung mehr. Varicositäten zeigen sie nirgends, so lange sie ganz frisch sind. Nachdem das Präparat einige Stunden gelegen hat, treten an den feinsten Fäserchen hie und da kleine knötchenartige Verdickungen auf. Auch die Ausläufer der sternförmigen Zellen sind im ganz frischen Zustande nicht varicös, sondern werden es erst nach längerem Liegen. Untersucht man den Lauf einer blassen Terminalfaser genauer, so constatirt man leicht, dass sie auf ihrem Wege zwischen zahlreichen sternförmigen Zellen und deren Ausläufern hindurchtritt, mitunter dieselben streift; nie aber tritt sie mit denselben in

Verbindung. Auch durch eine Zelle hindurch tritt niemals ein Axencylinder. Wo es den Anschein hat als sei eine Zelle in den Verlauf des Nerven eingeschaltet, da erkennt man bei ausreichender Vergrösserung, dass es sich um eine Aneinanderlagerung handelt. Der Nerv läuft dann dicht über oder unter der Zelle weg. Es ist merkwürdig, wie oft man sehen muss, dass ein Axencylinder seine Richtung ändert um eine Zelle zu umgehen. Statt seine ursprüngliche Richtung beizubehalten und durch die Zelle hindurchzutreten, macht er einen kleinen Bogen aussen dicht um die Zelle herum und läuft erst auf der anderen Seite in der ersten Richtung weiter. Er macht es offenbar ebenso wie die Hornhautfibrillen, welche die Zelle begrenzen.

Was man ferner an den frischen, in Humor aqueus liegenden Hornhäuten besser als an künstlich zubereiteten beobachten kann, ist das Uebereinanderweglaufen der feinsten Nervenäste. Obschon dieselben sich an den Kreuzungsstellen berühren, verschmelzen sie, wie die Verfolgung ihrer Contouren zeigt, doch nirgends miteinander. Man muss diese Bilder gesehen haben, um namentlich durch die Säurepräparate nicht zu falschen Annahmen geführt zu werden. Bei diesen werden nämlich durch die Quellung der Grundsubstanz, selbst wenn sie äusserst gering ist, die sich kreuzenden Nerven gegeneinander gepresst und verkleben an der Kreuzungsstelle. — Bei der Untersuchung in wässriger Augenfeuchtigkeit trifft man auf viele Stellen, wo Nervenfasern miteinander anastomosiren. Man erkennt nicht selten bei einigermassen dicken Fasern, dass dieselben nicht ineinander übergehen, sondern nebeneinander herlaufen. Aber auch die feinsten anastomosirenden Fäserchen entfernen sich, nachdem sie scheinbar zu einer verschmolzen waren, streckenweis ein wenig von einander, um sich gleich darauf wieder zu einer anscheinend einfachen Faser zu vereinigen. Diess hat auch Hoyer*) gesehen. Bei anderen Behandlungsweisen, welche die feinsten Nerven gut zur Ansicht bringen (Chromsäure von 0,01 %, starkverdünnte Oxalsäure, Essigsäure, Salzsäure von 0,01 % und darüber, Chlorgold, Silbersalpeter), zeigt sich dasselbe. Ich muss desshalb noch zweifeln an der Existenz eines durch Uebergang der feinsten Axencylinder ineinander hergestellten Endnetzes, wie dies seit längerer Zeit auf Grund der Untersuchungen von Sämisch, Kölliker, His, Arnold

*) Hoyer, Archiv für Anatomie und Phys. 1866. S. 186.

und auch Kühne angenommen wird. Dass ein Netzwerk feinster Nervenfasern existirt, steht fest, aber die Vermuthung ist begründet, dass dasselbe nur durch Aneinanderlagerung allerfeinster Nervenfasern zu Stande kommt.

Die Endigung der feinsten blassen Fasern bildet zweifellos den schwierigsten Theil der Untersuchung. Es bleiben, wenn man die einfache netzförmige Endigung ausschliesst, vor Allem zwei Fälle denkbar: ein Zusammenhang der Fasern mit den Hornhautzellen und eine freie Endigung zwischen den Fibrillen. In frischen Hornhäuten findet man Bilder die den einen Fall und Bilder die den andern illustriren. Es fragt sich, welchen Bildern ist mehr zu trauen? Kommen vielleicht beide Fälle vor? — Unter den feinsten Fasern findet man hie und da welche, die schliesslich, nachdem sie unmessbar fein geworden sind, frei in der Grundsubstanz zu endigen scheinen. Der Punkt ist meist nicht genau zu bezeichnen, wo die Faser aufhört, so ganz allmählich verliert sie sich. Man entdeckt in der Umgebung trotz aller Anstrengungen keinen Zellenausläufer, der etwa mit ihr in Zusammenhang stehen könnte. — In andern Fällen erblickt man mit der Deutlichkeit, die bei so enorm feinen Objecten verlangt werden kann, dass allerfeinste Nervenfäden von 0,0001 bis höchstens 0,001 mm Durchmesser gradeswegs in Zellenausläufer übergehen. Man entdeckt in der Umgebung, namentlich jenseits der Zelle nichts anderes, was als Fortsetzung des Nerven angesehen werden könnte. Der Uebergang ist anscheinend so allmählich, dass nicht zu sagen ist, wo Nerv aufhört und Zelle anfängt. Es wurde schon erwähnt, dass weder Zellenausläufer noch feinste Nervenfasern im frischen Zustand varicös sind; sie werden es erst nach einiger Zeit, aber keins merklich früher als das andere. Die Anschwellungen der Zellenausläufer pflegen dann grösser und unregelmässiger zu sein als die an gleich dünnen Nervenfasern; doch hilft das im einzelnen Falle zur Unterscheidung nichts. Ich empfehle zur Verfolgung des scheinbaren Uebergangs in Zellen besonders die feinen blassen Fasern, welche einzeln an zahlreichen Stellen vom Scleralrande kommen. Sie pflegen in der Höhe der ersten oder zweiten Lamelle, von hinten gerechnet, zu enden. Zuweilen theilen sie sich, nachdem sie schon äusserst dünn geworden sind (0,0005 mm etwa) noch in kurzen Abständen hintereinander einige Male dichotomisch, um anscheinend in Zellen zu endigen, die nahe beisammen liegen.

Es giebt noch eine Reihe von Methoden, welche Bilder des Uebergangs feinster Nervenfasern in sternförmige Zellen liefern. Obenan steht die Silber- und die Goldimprägnation. Ist es gelungen den Silberniederschlag in Zellen und Nerven zu erhalten, so erscheinen die Nerven schon bei schwacher Vergrösserung als schwarze Fäden in heller Zwischensubstanz zwischen den prachtvoll gefüllten Hornhautzellen. Fast nirgends ist es so leicht als hier, die zahlreichen feinsten Nerven zu finden, welche vereinzelt vom Scleralrand her in die Cornea dringen. Verfolgt man sie, so sieht man sie häufig genug schliesslich in Zellenausläufer übergehen. Um besseres Licht zu haben ist es nöthig vorher das Epithel mit einem Pinsel oder besser mit einer feinen Pinzette zu entfernen. — Nicht minder besteehende Bilder giebt die Goldimprägnation, die man in der von Cohnheim*) angegebenen Weise bewerkstelligen kann. Die Zusammensetzung der Nervenplexus aus feinsten Fasern tritt bei keiner anderen Behandlungsweise so scharf hervor. — Bei beiden Methoden findet man am leichtesten Stellen, welche den Zusammenhang von Nerven mit Zellen anscheinend beweisen. Hier ist aber der Umstand verdächtig, dass es nicht immer die feinsten Nervenfasern sind, welche in Zellen zu enden scheinen, sondern häufig genug solche, deren Durchmesser 0,001 mm und darüber beträgt. Andere Fasern können bis zu viel grösserer Dünne verfolgt werden ohne dass ihr Uebergang in Zellen zu constatiren ist. Da wir bei der Untersuchung frischer Hornhäute in Humor aqueus nur bei den allerfeinsten, nie bei stärkeren Nervenfasern den scheinbaren Uebergang in Zellen zu erkennen vermochten, liegt es nahe, als Ursache dieser Differenz einen Fehler in den Methoden der Gold- und Silberimprägnation zu vermuthen. In der That findet sich in beiden eine Fehlerquelle. Diese besteht darin, dass der Silber- oder Goldniederschlag selbst in den gelungensten Präparaten nicht an allen Stellen wo er sollte zu Stande kommt. Im Verlaufe der feinsten Nervenfasern trifft man nicht selten auf Stellen, wo dieselben wie abgebrochen zu enden scheinen, aber eine Streke weiter tauchen sie ebenso plötzlich wieder auf, um noch weit hin zu ziehen. In der That gelingt es bei manchen scheinbar in Zellen endenden Fasern, eine Strecke jenseits der Zellen plötzlich wieder eine Nervenfaser von gleicher Stärke auftauchen zu sehen. Beweisend sind also diese Bilder nicht.

*) Centralblatt f. d. med. Wiss. 1866. S. 404.

Die von Kühne empfohlene Behandlung der Hornhaut mit einer 0,25 % NaCl haltigen Chromsäure von 0,01 — 0,1 % ist sehr geeignet zur Darstellung und Conservirung der innerhalb der Hornhaut endigenden Nerven. Aber sie giebt zu vielen Täuschungen Veranlassung, namentlich wenn die untersuchten Hornhäute frisch in die Säure von 0,01 % gebracht wurden. Hier findet eine freilich nur geringe Quellung der Hornhautsubstanz statt, von der man sich auf Querschnitten und Faltungsstellen besonders leicht durch Messung überzeugen kann. Die Folge davon sind Quetschungen der Nervenfasern und der Zellen. Die Nervenfasern werden an vielen Stellen, wo sie übereinander weglaufen, zusammengepresst und verklebt. So entstehen viele scheinbare Anastomosen feinster Fasern. Etwas ganz Ähnliches findet statt an den zahlreichen Stellen, wo Nervenbündel oder einzelne nackte Axencylinder an sternförmigen Zellen und deren Ausläufern dicht vorbei ziehen. Nichts ist dann leichter als solche Bilder zu finden wie sie Kühne auf Tab. VI und VII als Beispiele der Nervenendigung giebt. So überzeugend diese für sich den Zusammenhang zahlloser Hornhautzellen selbst mit den noch innerhalb der gröberen Geflechte verlaufenden Nervenfasern darzuthun scheinen, sind sie doch nur Trugbilder, wie die Vergleichung mit ähnlichen Stellen in frischen Hornhäuten beweist. Ich habe mehrmals Gruppen von Hornhautzellen, welche zunächst um bestimmte Nervenfasern herumlagen, frisch in Humor aqueus untersucht und mich überzeugt dass ihre Fortsätze in keinem anatomischen Zusammenhang mit den Nerven standen. Dann legte ich, nachdem ich mir die Stellen wohl gemerkt hatte, die Hornhaut einige Stunden in die verdünnte Chromsäurelösung. Nun zeigten sich dieselben Zellenausläufer zum grossen Theil in Verklebung und Verschmelzung mit den Nervenfasern. Es mag hier bemerkt werden, dass in diesem Punkt auch die gelungenen Gold- und Silberpräparate, bei denen eher eine Schrumpfung als eine Quellung eintritt, dasselbe lehren wie die frischen Hornhäute. — Ein weiterer Übelstand für die Untersuchung der feinsten Nervenverzweigungen besteht namentlich bei den mit etwas stärkeren Chromsäurelösungen (0,1 % und darüber) behandelten Praeparaten darin, dass durch die Säure in der interfibrillären Gewebsflüssigkeit ein Eiweisscoagulat entsteht. Man sieht desshalb an fast allen Stellen, wo messbar breite interfibrilläre Zwischenräume entstanden sind, nach dem Zusatz verdünnter Chromsäure zarte, zuweilen feinkörnige Streifen zum Vorschein kommen. Dieselben laufen natürlich in der Richtung der Fibrillen ihrer

Lamelle; bald erscheinen sie wie kurze abgebrochene Striche, bald wie Fasern von beträchtlicher Länge, die nur dadurch zuweilen von gleich-dünnen Nervenfasern zu unterscheiden sind, dass man sie nicht rück-wärts bis zu einem grösseren Nervenstämmchen verfolgen kann. Dagegen gehen sie an dem einen Ende oft genug in einen zufällig in denselben Interfibrillärraum sich hineinerstreckenden Zellenausläufer über. Man findet solche Übergangsstellen langer, wie feine Nervenfasern aussehender Coagulate in Zellenfortsätze ziemlich häufig und muss dann beim Verfol-gen der Faser nach rückwärts zu die unangenehme Entdeckung machen, dass der anscheinende Nerv plötzlich aufhört, oder allmählich dünner und dünner werdend sich spurlos zwischen den Fibrillen verliert. Man begreift, dass diese fasrigen Coagulate in der interfibrillären Flüssigkeit, wenn sie wie oft sehr zahlreich sind, die Verfolgung der feinsten Nerven-Aeste sehr erschweren. — Wer künftig den Zusammenhang und die Be-ziehungen der Hornhautelemente zu den Nerven untersuchen will, möge also den Chromsäurepraeparaten nicht allzuviel Zutrauen schenken. — Dasselbe gilt in noch höherem Masse von den Präparaten, die man erhält durch das so übliche Einlegen der Cornea in Holzessig (His), oder in verdünnte Essigsäure (Sämisch), oder in verdünnte Salzsäure. Auch Oxalsäure in beliebiger Verdünnung ist unbrauchbar. Alle diese Flüssig-keiten veranlassen, wie schon oben erwähnt, beträchtliche Quellung der Hornhautfibrillen, wirken aber bei weitem nicht so stark oder gar nicht coagulirend auf das Zellenprotoplasma ein, wie Chromsäure selbst in hochgradigster Verdünnung.

Den frischen Hornhänten am nächsten stehen die mit Jodserum, dann die mit schwächeren Zuckerlösungen behandelten. Selbst concen-trirtere Zuckerlösungen erhalten, wie von Recklinghausen schon er-wähnt, die Hornhautzellen und ihre Ausläufer in ziemlich unveränderter Form, machen sie etwas glänzend und lassen auch die Nerven deutlich. Zugleich bringen sie die fibrilläre Structur der Hornhautgrundsubstanz ganz gut zur Anschauung. In Betreff der Nervenendigung lehren sie das-selbe, wie die in Humor aqueus liegenden Hornhäute; bald glaubt man eine freie Endigung bald einen Übergang in Zellenausläufer zu erblicken.

Man sieht aus alledem, wie schwierig es ist, die Frage nach der Endigung der Nerven in der Hornhaut anatomisch zu entscheiden. Die genaueste Analyse der bei den verschiedenen Untersuchungsmethoden in der Hornhaut hervorgerufenen Veränderungen muss vorausgehen, bevor

man über das normale Verhalten ihrer einzelnen Bestandtheile und deren Beziehungen zu einander ein Urtheil zu fällen berechtigt ist. Man wird aus dem Vorstehenden schon erkannt haben, dass mich die anatomische Untersuchung weder vom Uebergang der Nervenfasern in Zellen, noch von einer freien Endigung der Nerven überzeugt hat. Meine Hoffnungen, dass es das Experiment thun würde, sind zu Schanden geworden. KÜHNE, nachdem er auf anatomischem Wege bewiesen zu haben glaubte, dass das Zellennetz der Cornea direct aus den Nerven hervorgehe, hat sogleich die zur Ermittelung der Abhängigkeit der Zellen von den Nerven hier in Betracht kommenden Reizversuche angestellt. Das Ergebniss dieser Versuche war: die Hornhautnerven sind eine neue Klasse von motorischen Nerven; ihre Reizung bringt die Hornhautkörperchen zur Contraction. — Um kurz zu sein, bemerke ich nur, dass mich die buchstäblich nach KÜHNES Vorschriften mit denselben Apparaten an demselben Thiere (Rana esculenta) angestellte Wiederholung seiner Versuche das gerade Gegentheil gelehrt hat, obschon die von mir gereizten Präparate sich nachweislich in einem mindestens ebenso unversehrten Zustand befanden als die KÜHNE'schen. Weder die elektrische Reizung der Hornhautnerven in der Sclera oder am Hornhautrande, noch die directe Reizung der Cornea durch Inductionsschläge von der Stärke wie sie KÜHNE anwandte, erzeugten irgend welche Formveränderung an den sternförmigen Zellen*). Dasselbe gilt von der mechanischen Reizung auf die KÜHNE grosses Gewicht legt. Schon in Folge der mechanischen Reizung beim Herausschneiden der Cornea aus dem Auge sollen nach KÜHNE**) alle oder doch die meisten sternförmigen Zellen sich zu spindelförmigen Körpern contrahiren. Desshalb sehe man in einem frisch in Humor aqueus gelegten nach früher beschriebener Weise hergestellen Präparate anfangs keine einzige sternförmige Zelle, sondern nur »eine Menge geschlängelter, matt glänzender länglicher Körper in der verschiedensten Lage im Gesichtsfeld umherliegen.« Im Verlauf von 2 bis 3 Stunden sollen diese dann allmählich wieder Sternform annehmen, aber auch dann soll noch »eine Umlagerung des Objects, das Bestreichen mit einem von Humor aqueus benetzten Pinsel, ein ausreichender Druck auf das Deckglas und andere scheinbar unschuldige me-

*) Von den Wanderzellen gelten v. RECKLINGHAUSENS Angaben.
**) l. c. S. 123 ff.

chanische Eingriffe genügen, um fast sämmtliche sternförmige Körper verschwinden zu machen.«

Hiergegen ist Folgendes zu bemerken. In einer nach Kühnes eignen Vorschriften und mit grösster Vorsicht und Schnelligkeit zubereiteten, in Humor aqueus und feuchter Kammer gelegenen Hornhaut erblickt man anfangs, wie früher schon ausführlich erwähnt, von den Hornhautzellen nicht eine Spur, falls man reine Flächenansichten hat. Hie und da nur erkennt man einzelne sehr mattglänzende wandernde Zellen, welche wohl auch Spindelform haben können. Dagegen erblickt man an Faltungsstellen der Membran, da wo die Flächenansicht in Profilansicht übergeht, aus leicht begreiflichen Gründen die sternförmigen Hornhautzellen im Profil als spindelförmige, matt glänzende, leicht geschlängelte Körper. Mit der Zeit treten auch auf Flächenansichten die sternförmigen Zellen hervor, aber wie ich in voller Uebereinstimmung mit v. Recklinghausen finde, gleich von Anfang an in derselben Sternform die sie noch nach Stunden zeigen. Nur sind sie zuerst äusserst blass. — Mir ist es nicht gelungen durch die von Kühne citirten mechanischen Eingriffe eine Formveränderung der einmal sichtbar gewordenen sternförmigen Zellen frischer Präparate zu erzeugen. Man muss sich nur hüten, dass durch den Eingriff keine Lageänderung herbeigeführt und die Flächenansicht in eine Profilansicht verändert werde. Bei einiger Vorsicht und Uebung ist es indessen leicht, eine und dieselbe Zelle in der Flächenansicht zu fixiren, während man die mechanischen Eingriffe auf die Hornhaut applicirt. Ich habe grade im Gegentheil gefunden, dass in Hornhäuten die bei der Präparation etwas stärker gezerrt, im Uebrigen aber ebenso wie die eben erwähnten behandelt worden waren, dass bei diesen von vornherein oder doch nach einigen Minuten schon die sternförmigen Zellen sämmtlich in voller Pracht sichtbar waren. Ich empfehle geradezu eine mässige Zerrung und Dehnung der Membran, wenn an einem ganz frischen Präparat die sternförmigen Zellen sogleich deutlich werden sollen. Die Dehnung braucht nur so weit zu gehen, dass die Hornhaut dem blossen Auge für einen Augenblick weisslich getrübt erscheint.

Es bedarf indessen meiner Versuche gar nicht, um die Angaben Kühnes zu widerlegen! Aus Kühnes eignen Versuchen geht die Unhaltbarkeit seiner Behauptungen hervor, vor Allem aus seinen Versuchen am »nervenfreien« und am »nervenhaltigen Zipfel«. Kühne nahm die Cornea mit einem beträchtlichen Saume der Sclera heraus und zerschnitt

sie mit einer sehr scharfen Scheere, so dass er ein grösseres centrales Stück der Membran mit vier daran hängenden 1—2 mm breiten Zipfeln erhielt. Von diesen Zipfeln sollen sich nun die einen bei der mikroskopischen Untersuchung nervenhaltig, die andern nervenfrei gezeigt haben. Legte KÜHNE einen nervenhaltigen Zipfel auf die Elektroden, so trat schon bei 3 Cm Rollenabstand »Contraction« der Hornhautzellen im Centrum ein; wurde ein »nervenfreier« Zipfel gereizt, so erfolgte selbst bei viel geringerem Rollenabstande keine Formveränderung der Zellen. Ebenso sah er bei mechanischer Reizung eines nervenhaltigen Zipfels binnen wenigen Minuten die sternförmigen Zellen »zu spindelförmigen Körpern zusammenfallen«; bei Reizung eines »nervenfreien Zipfels trat keinerlei Bewegung an den Zellen auf«. Diese Versuche sind nun desshalb gegen KÜHNE selbst beweisend, weil es gar keine nervenfreien Strecken von makroskopischer Ausdehnung am Scleralrande giebt! Wir haben oben auf die zahlreichen, KÜHNE entgangenen, blassen Nervenfasern aufmerksam gemacht, welche ausserhalb der Stämme dunkelrandiger Nerven an den verschiedensten Stellen des Hornhautrandes aus der Sclera hervorkommen. Sie waren es besonders, deren scheinbare Endigung in Hornhautzellen am leichtesten nachzuweisen gelang und sie sind ohne Widerrede in allen Versuchen KÜHNES an angeblich nervenfreien Zipfeln mitgereizt worden. Somit hätte auch die Reizung der »nervenfreien« Zipfel spätestens binnen einigen Minuten die Umwandlung der sternförmigen Zellen in spindelförmige Körper herbeiführen müssen, was aber nicht geschah.

Aehnliche Widersprüche finden sich mehr. So findet KÜHNE, wenn er die Hornhaut mit einer »sehr spitzen, recht scharfen Lanzette« (pag. 123) herausgenommen hat, alle Hornhautzellen contrahirt, hebt er aber die Cornea mit einer »äusserst scharfen und spitzen Lanzette« ab (pag. 125), so findet er immer grosse Gruppen nicht contrahirter Zellen. Auf der nächsten Seite (pag. 126) muss man lesen, dass schon das Bestreichen der Cornea mit einem von Humor aqueus benetzten Pinsel ausreiche »um fast sämmtliche sternförmige Körper verschwinden zu machen«. Es ist unverständlich, wie die Zellen beim Durchschneiden ihrer sämmtlichen Nerven, wenn es auch mit einer »äusserst« scharfen Lanzette geschieht, in Ruhe verharren können, während KÜHNE sie doch schon durch blosses Kitzeln der Hornhautoberfläche zum Zusammenfahren bringt!

Auf den eigenthümlichen Umstand näher einzugehen, dass die Zelle bei ihrer »Contraction« von ihrem Nerv sowol, wie von ihren Nachbarzellen abreisst, ebenso wie auf andere nicht minder originelle Beobachtungen Kühne's, wird nach dem Vorausgeschickten überflüssig.

Erwähnung verdienen noch die spärlichen Resultate der Nervendurchschneidung. Die Nervenfasern werden danach meist sehr blass, enthalten mässig reichliche Fetttröpfchen. In den Zellen, welche im Bereich der durchschnittenen Nervenfasern lagen, fand ich die Kerne oft von ganz unregelmässiger, meist stark gekrümmter Gestalt; einzelne hatten sich auch getheilt. — His *) beobachtete, dass nach Trigeminusdurchschneidung in dem Bereich der fettig degenerirten Nerven auch die Zellen der Hornhaut fettig degenerirt waren. — Diese wenigen, wichtigen Thatsachen weiter zu verfolgen wird eine interessante Aufgabe der pathologischen Histologie sein. Es geht aus ihnen hervor, dass die Hornhautnerven zu den Hornhautzellen in einer sehr nahen und wichtigen physiologischen Beziehung stehen. Ob hier wirklich ein Beispiel »trophischer« Nerven vor uns liegt, müssen spätere Versuche entscheiden.

Es erübrigt noch, die Methoden zu besprechen, welche in Anwendung kommen bei der Untersuchung der in das Hornhautepithel eintretenden Nervenfasern. Diese Nerven treten wie früher geschildert mit den anderen Nervenfasern etwa in der Höhe der zweiten Lamelle von der Elastica posterior aus gerechnet in die Hornhaut ein. Soweit sie noch innerhalb der beiden Grenzmembranen der Cornea verlaufen, sind für sie alle die Untersuchungsmethoden anwendbar, welche für die in der Hornhautsubstanz endenden Nerven gelten. Gleichviel welche Methode man benutzt, nichts ist leichter als die zahlreichen grösseren und kleineren Stämmchen zu sehen, welche in steilem Bogen aus den tiefsten Schichten nach vorn steigen und die Elastica anterior durchbohren. Es nimmt Wunder, dass so grobe Verhältnisse Kühne **) völlig entgangen sind, ebenso wie Cohnheim †), der »lediglich die Angaben W. Kühne's in jeder Beziehung bestätigen muss«. Hoyer ††) ist der Erste der sie beschreibt; ihm gelang es jedoch nicht, die Nerven jenseits ihres Austritts aus dem Porus weiter zu verfolgen. Er legte meist die Hornhäute

*) Histologie der Cornea, S. 132 und 134.

**) Protoplasma S. 138.

†) Centralblatt f. d. med. Wiss. 1866. S. 404.

††) Hoyer, im Archiv für Anat. u. Physiol. 1866. S. 186.

mehrere Stunden in verdünnte Chromsäure von 0,1—0,02% und dann in verdünnte Salzsäure von 0,1%. — HOYER's Angaben lassen sich leicht bestätigen. Insbesondere muss ich ihm völlig beistimmen in der Erklärung, welche er für das Entstehen der trichterförmigen Einziehungen der Elastica anterior an den Nervenporen giebt. Etwas Aehnliches beobachtet man auch an den Stellen, wo sogenannte Stützfasern mit der Elastica anterior in Verbindung treten. Vor der Verwechselung zwischen Nerven und »Stützfasern« sichert man sich bald. Die Silber- und Goldimprägnation geben hübsche Mittel ab, beide Fasern sofort zu unterscheiden. Die Nervenfasern werden geschwärzt, die Stützfasern nicht. — Um das normale Verhalten der nach vorn gehenden Nerven zu den Hornhautelementen, sowie um die natürliche Form der Nervenporen in der Elastica anterior kennen zu lernen, muss man die Cornea frisch in Humor aqueus und feuchter Kammer untersuchen. Man braucht nur den Hornhautrand vorsichtig umzufalten, so erhält man die vortrefflichsten optischen Querschnitte. Das Epithel muss dabei nach aussen und oben gekehrt sein. Zur Verfolgung der Nerven jenseits des Austrittes aus dem Nervenporus muss man sich aber der Flächenansichten bedienen.

Die Untersuchung der Nervenausbreitung im Epithel verlangt, dass die Epithelzellen durchsichtig und die Nerven gut erhalten bleiben. Beide Forderungen sind erfüllt bei der Untersuchung der ganz frischen Cornea in Humor aqueus und feuchter Kammer. Hier erhält sich das Epithel lange Zeit durchsichtig. Erst nach einigen Stunden, bei besonders schonend präparirten und aufbewahrten Hornhäuten erst nach 6 bis 12 Stunden und noch später, sieht man die Umrisse der einzelnen Epithelzellen deutlicher werden. Der Inhalt der Zellen trübt sich in geringem Grade, von den oberflächlichsten nach den tieferen Schichten zu fortschreitend. Bei Flächenansichten sieht man dann bei Einstellung auf die Cylinderepithelschicht ein Netzwerk heller glänzender Linien, welche kleine meist 6eckige matte Felder einschliessen. Diese hellen Linien, die Zellencontouren, erscheinen in diesem Stadium zuweilen so regelmässig und fein gekerbt, dass man an die Bilder der Riff- und Stachelzellen erinnert wird. In unserem Falle kommt dies Bild aber dadurch zu Stande, dass aus den langsam schrumpfenden und an ihrer Oberfläche sich runzelnden Zellen Flüssigkeit in die für gewöhnlich nicht wahrnehmbaren capillaren Intercellularräume tritt. — Die Kerne der Epithelzellen sind bei der Behandlung mit Humor

aqueus in den ersten Stunden fast nur in der oberflächlichsten Zellenschicht deutlich; sie erscheinen dann bläschenförmig, mit glänzendem Kernkörperchen.

Die Untersuchung ganz frischer Hornhäute in Humor aqueus ist nun zugleich die einzige, welche über die wandernden Zellen des Hornhautepithels sicheren Aufschluss giebt. Es ist nöthig, diese Zellen lebend zu beobachten, um nicht über ihr Verhalten zu den Nerven falsche Vorstellungen zu bekommen. Ueber ihr Vorkommen, ihre Zahl, ihre Form u. s. w. wurde schon weiter oben gesprochen. Hier sei noch erwähnt, dass ihre Bewegungen im Ganzen merklich langsamer sind als die der innerhalb der Cornea wandernden Zellen. Eine Geschwindigkeit von 0,04 mm in der Viertelstunde war das Maximum, welches ich beobachtete. Dabei sind die Zellen von äusserst labilem Bau; sie gehen oft schon zu Grunde, bevor man noch an den unbeweglichen Epithelzellen Veränderungen bemerkt. Sie zerfallen entweder in kleine glänzende Protoplasmakugeln von ziemlicher Anzahl, oder es treten zahlreiche Vacuolen in ihnen auf. In beiden Fällen sistiren die Bewegungen, um nie wieder zu erwachen.

Was die aus den Poren der Elastica anterior austretenden Nervenfasern anlangt, so ist auch für sie die Untersuchung ganz frischer Membranen in Humor aqueus am meisten zu empfehlen. Sie allein liegt der oben gegebenen Darstellung der epithelialen Nervenausbreitung zu Grunde. Die Nervenfasern erscheinen anfangs als helle, glänzende, nicht varicöse Streifen auf gleichmässig mattem Grunde. Ihre feinsten Verzweigungen sind klar. Man überzeugt sich bei Flächenansichten zunächst, dass die gesammte Nervenausbreitung ausserhalb der Elastica anterior liegt. Verfolgt man dann eine Faser bis zu einer zufällig oder absichtlich gebildeten Hornhautfalte, was in jedem Präparat mit grosser Leichtigkeit gelingt, so erblickt man sie hier im optischen Querschnitt als einen hellleuchtenden Punkt oder eine kleine Scheibe, welche in der Regel unmittelbar der äusseren Oberfläche der Elastica anfliegt. Nicht wenige, namentlich der feineren Fasern erscheinen auf dem optischen Querschnitt zwischen den Zellen der mittleren Epithelschicht, also näher der Oberfläche des Epithels als der Elastica anterior. Nie erscheint eine Nervenfaser in die Elastica selbst eingebettet. *) Man überzeugt sich bei

*) Cohnheim hat vorgeschlagen (Centralblatt f. d. med. Wiss. 1866. S. 403), die Elastica anterior künftig Stratum nervosum zu nennen, weil nach ihm, bei den

Flächenansichten ferner an Hunderten von Stellen, dass die gröberen wie die feinsten Fasern dicht übereinander weglaufen, sich kreuzen, ohne mit einander zu verschmelzen. Zuweilen glaubt man zwischen zwei Fasern eine quere Verbindung hergestellt zu sehen durch einen äusserst feinen kaum messbar dünnen Zweig. Indessen gelingt es nicht selten, auch solche scheinbare Anastomosen als blosse Kreuzungsstellen nachzuweisen. — Nach einiger Zeit werden viele der blassen Nervenfasern varicös und nehmen sich dann wie feinste Perlschnüre aus. — Sobald die Epithelzellen sich zu trüben beginnen und das helle Netzwerk der Zellengrenzen auftritt, wird die Verfolgung der Nerven sehr erschwert und man muss zu andern Hilfsmitteln greifen. Ich empfehle dann dem Objecte eine Anzahl Tropfen einer Salzsäure von etwa 0,05% zuzusetzen. Die Lösung muss so verdünnt sein, dass Flimmerzellen von der Froschzunge noch wenigstens eine Stunde darin Wimperbewegung zeigen. Man kann auch das Präparat aus dem Humor aquens nehmen und einige Minuten lang in dieselbe schwache Säurelösung einlegen. Anfangs tritt eine etwas stärkere Trübung der Epithelzellen auf, die aber sehr bald wieder verschwindet. Die Zellen quellen dann äusserst langsam auf, werden ebenso durchsichtig wie im frischen Zustande. Ihre Contouren erblassen fast zur Unkenntlichkeit, wegen der ausserordentlichen Verengerung der capillaren Intercellularräume. Zugleich werden in allen Zellen die Kerne als runde, pralle, sehr zarte und blasse Bläschen sichtbar, in deren Centrum von einem hellen Hof umsäumt das mattglänzende Kernkörperchen erscheint. In den plattenförmigen Zellen der oberflächlichsten Lage kann man alle Stadien der Kerntheilung auffinden. Die Nerven treten in den meisten Fällen sehr deutlich als dunklere Fäden auf hellerem Grund hervor und ihre Verfolgung hat keine erheblichen Schwierigkeiten. Indessen werden einige sehr wichtige Veränderungen an ihnen hervorgerufen, ähnlich denen, welche oben von den feinen

Säugethieren wenigstens, in dieser Membran ein äusserst feines und reiches Nervengitterwerk liegen soll. Mir fehlen eigne Untersuchungen über die Hornhäute der Säugethiere. Indessen halte ich, unterstützt durch die von Hoyer mitgetheilten Erfahrungen, den Analogieschluss für gerechtfertigt, dass auch bei den übrigen Wirbelthieren die vordere Nervenausbreitung, wo sie vorhanden, ausserhalb der Elastica anterior liegt. Somit ist der Name Stratum nervosum für die vordere Grenzmembran der Hornhaut bei den nackten Amphibien unter allen Umständen und mit grosser Wahrscheinlichkeit auch bei den übrigen Wirbelthieren unpassend. Am indifferentesten möchte wol der Name Membrana limitans anterior sein.

intracornealen Nervenzweigen geschildert wurde. An fast allen Berührungsstellen verkleben nämlich die nackten Axencylinder mit einander, zuweilen mit dreieckigen Verbreiterungen. Es werden so eine Menge Anastomosen fabricirt, von denen während des Lebens keine Spur vorhanden ist. Die Ursache dieser Verklebung mag wol theils in der Pressung liegen, welche die Nerven durch die Quellung ihrer Umgebungen erleiden, theils darin, dass eine Verflüssigung der oberflächlichsten Schicht der Nerven herbeigeführt wird, welche eine Verschmelzung an der Berührungsstelle zweier Fasern erlaubt. — Wenn die verdünnte Salzsäure einige Stunden lang eingewirkt hat, pflegt sich das Epithel mit der gesammten Nervenausbreitung langsam von der Elastica anterior abzuheben. Die Nerven reissen gewöhnlich dicht ausserhalb des Porus durch. Zuweilen aber beobachtet man, wie sie zwischen Porus und dem immer weiter als zusammenhängende Haut sich abhebenden Epithel durch den zwischen diesen beiden entstandenen Flüssigkeitsraum sich frei ausspannen. — Auf der Oberfläche der Elastica bleiben bei dieser Behandlungsweise nie Nervenfasern kleben. Diess kommt jedoch vor bei den Chromsäure-, Essigsäure- und anderen Präparaten, bei denen man das Epithel gewaltsam entfernen muss. Hier haftet wenigstens an und in der Umgebung der Poren das Cylinderepithel ziemlich fest an der Elastica und leicht reissen hier die Zellen beim Abziehen des Epithels an ihrer Basis durch. Dann bleibt natürlich der zwischen ihnen und der Elastica liegende Theil der Nervenausbreitung aussen auf der Elastica zurück. Indessen ist hier Alles so coagulirt und trüb, dass man nichts unterscheidet, als krümliche Massen, in welchen bei Flächenansichten nur noch Andeutungen der Zellengrenzen zu erkennen sind. Die Nerven kommen nicht zur Anschauung. Ueberhaupt eignen sich alle die Flüssigkeiten für die Untersuchung der vorderen Nervenausbreitung wenig, welche Trübungen, Niederschläge oder auch nur Schrumpfung in den Epithelzellen veranlassen.

Ich habe mich nun vergeblich bemüht eine möglicherweise auf der äusseren Oberfläche des Epithels vorhandene freie Endigung der Hornhautnerven festzustellen, die nach Cohnheim *) bei den Säugethieren vorkommt. Selbst die von Cohnheim angewendete Methode der Goldimprägnation gab mir die nämlichen Resultate wie die Untersuchung der

---

*) l. c. S. 134.

ganz frischen Hornhäute. Ich versuchte die Entscheidung experimentell herbeizuführen. Die Empfindlichkeit der Hornhaut des Frosches gegen Berührungen ist bekannt. Das Thier reagirt darauf durch sofortiges Schliessen des Auges. Um zu erfahren in welcher Schicht der Hornhaut die Empfindlichkeit begänne, stellte ich folgende Versuche an. Ich führte ein trocknes menschliches Haar langsam in tangentialer Richtung bis unmittelbar vor das normale Auge eines Frosches. Eine leise Annäherung brachte es in Berührung mit der Hornhautoberfläche, an der es nun durch die capillare Flüssigkeitsschicht festgehalten wurde. Es trat kein Reflexschluss des Auges ein. Ich bewegte nun das immer noch an der Hornhautoberfläche haftende Haar anfangs sehr vorsichtig, dann lebhafter in tangentialer Richtung hin und her und bestrich nach und nach damit einen grossen Theil der Hornhautoberfläche. Es trat keine Reflexzuckung ein, obschon die Bewegungen des Haars oft recht schnell geschahen. Liess ich das Haar rasch auf die Cornea fallen oder berührte ich dieselbe zuerst mit der Haarspitze, so zuckte der Frosch sofort. — Ich befeuchtete nun das Haar mit einer ziemlich concentrirten Lösung von salpetersaurem Silberoxyd. Hier trat bei sehr vorsichtigem Anlegen des Haars regelmässig nach kaum einer oder einigen Secunden Zuckung ein. Immer verging aber eine merkliche Zeit zwischen Berührung und Schluss des Auges. Ich reinigte nun das Haar und befeuchtete es mit Salzsäure von 30 %. Die Zuckung erfolgte bei vorsichtigem Auflegen in noch kürzerer Zeit. Derselbe Versuch ward mit Kalilauge angestellt und nun trat sofort nach der Berührung, scheinbar gleichzeitig, Zuckung der Nickhaut ein. — Ich wiederholte dieselben Versuche in umgekehrter Reihenfolge und jeder ergab dasselbe Resultat wie vorher. — Endlich brachte ich einen mit Ammoniak benetzten Pinsel äusserst rasch bis etwa 2 mm weit vor den Corneascheitel eines Frosches, dem vorher der Sicherheit halber beide Nasenlöcher hermetisch verschlossen waren. Es erfolgte unmittelbar Zuckung der Nickhaut; nahm ich statt des Ammoniaks concentrirte Essigsäure, so verging eine äusserst geringe, aber schon merkbare Zeit, bis die Zuckung eintrat. Aehnlich bei Salzsäure.

Diese Versuche lehren Folgendes. Mechanische Reizungen der Hornhautoberfläche rufen keine Reflexzuckungen hervor, so lange sie nur die oberflächlichste Zellenlage betreffen und ein erhebliches Zusammendrücken des Epithels vermieden wird. Chemische Reizungen rufen um so schneller Reflexzuckung hervor, je schneller das chemische Agens

zu den tieferen Schichten des Epithels vordringt. — Wenn nun auch hieraus nicht mit Nothwendigkeit hervorgeht, dass die Nervenenden nicht bis über die Hornhautoberfläche herausdringen, so wird diess doch sehr wahrscheinlich gemacht und stimmt in erfreulicher Weise mit den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchung. Ich bin indessen weit entfernt, diess Ergebniss auch auf die übrigen Wirbelthiere, speciell die Säugethiere zu übertragen. An meinem eigenen Auge habe ich, während ich dasselbe in einem vorgehaltenen Spiegel betrachtete, den Versuch gemacht, ein trocknes Haar ganz leise an die Hornhautoberfläche anzulegen. So vorsichtig ich diess aber auch ausführe, im Momente der Berührung empfinde ich ein kitzelnd-schmerzhaftes Gefühl, welches sofort zu einem Reflexschluss des Auges reizt und deutlich vermehrte Thränensecretion veranlasst. Diese Empfindlichkeit nimmt am Rande der Hornhaut nach der Sclera zu ganz plötzlich ab. — Dies Resultat spricht zu Gunsten der von COHNHEIM gemachten Angaben über die freie Endigung der Nerven auf der äussern Oberfläche des Hornhautepithels.

Durch die Güte des Herrn Professor Ludwig erhielt ich vor Kurzem, leider zu spät um im Text der vorliegenden Arbeit darauf Rücksicht nehmen zu können, den Abdruck einer ganz neuerdings von KÖLLIKER *) veröffentlichten Mittheilung über die Hornhautnerven. Nachträglich hebe ich desshalb hervor, dass KÖLLIKER durch Untersuchung von Goldpraeparaten in den Hauptpunkten zu denselben Resultaten gekommen ist, wie sie im Vorstehenden mitgetheilt sind. KÖLLIKER findet sowol beim Frosch als bei den Säugern und dem Menschen eine intracorneale und eine epitheliale Nervenendausbreitung. Letztere liegt nach ihm in allen Fällen ausserhalb der Elastica anterior. Einen Zusammenhang der intracornealen Nerven mit den Hornhautzellen vermochte KÖLLIKER selbst an Goldpräparaten nicht aufzufinden.

*) Ueber die Nervenendigungen der Hornhaut. — Aus der Würzburger naturwissensch. Zeitschr. Bd. VI. 1866.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.